



António Miguel Ganço Dias Ganhão

Construção Sustentável - Propostas de melhoria da eficiência energética em edifícios de habitação

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Civil – Perfil de Construção

Orientador: Prof. Doutor Miguel P. Amado, Professor Auxiliar,
FCT/UNL

Júri:

Presidente: Prof. Doutora Paulina Faria Rodrigues

Arguente: Prof. Doutor Manuel Correia Guedes

Vogal: Prof. Doutor Miguel Pires Amado



**FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA**

Dezembro de 2011

“Copyright” António Miguel Ganço Dias Ganhão, FCT/UNL e UNL

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa tem o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

Ao Professor Doutor Miguel Pires Amado, pela orientação ao longo de todo este trabalho e por todo o apoio e disponibilidade demonstrados. Os conhecimentos e experiência partilhados foram fundamentais para a realização desta dissertação.

Ao Professor Doutor Vasco Moreira Rato, pela disponibilidade demonstrada e pela partilha de conhecimentos e informações essenciais para a correcta análise do caso de estudo.

À Ana Rita Silvestre pelo carinho e incentivo permanentes e pela ajuda e apoio constantes ao longo da elaboração desta dissertação.

Aos meus pais, irmão e restante família, pela motivação constante ao longo da vida e em especial no meu percurso universitário.

Aos meus amigos e colegas, em especial à Inês Rosa, João Gonçalves, João Grilo, Pedro Ribeiro, Susana Mateus e Vanessa Lucas, pela amizade, companhia e troca de conhecimentos ao longo de todos estes anos de curso.

Resumo

Actualmente, verifica-se um consumo exagerado de energia no sector dos edifícios em Portugal, o que constitui um entrave à concretização dos objectivos inerentes aos pressupostos do desenvolvimento e da construção sustentáveis.

Por esse motivo, devem ser desenvolvidos esforços que permitam a construção de edifícios energeticamente eficientes, o que assenta na adopção de um conjunto de técnicas (passivas e/ou activas) que visem reduzir os consumos energéticos do edifício ao longo do seu ciclo de vida, garantindo ao mesmo tempo conforto aos seus ocupantes.

O principal objectivo da dissertação é avaliar propostas passivas e activas de melhoria da eficiência energética em edifícios de habitação, com base no cálculo da poupança energética associada à climatização e do seu período de retorno financeiro simples. Procedeu-se ao estudo de um caso, utilizando como modelo base uma fracção autónoma de um edifício multifamiliar. A avaliação do desempenho energético inicial deste caso de estudo e a comparação do mesmo após a implementação das estratégias de melhoria foi desenvolvida através de uma análise dinâmica com recurso ao software *EnergyPlus*.

No estudo foram avaliadas as seguintes soluções: aplicação de isolamento térmico no interior de paredes duplas ou de ETICS na envolvente exterior opaca, vãos envidraçados mais eficientes, alteração da orientação solar do edifício, aplicação de sombreamentos fixos, definição de um padrão de ventilação nocturna no Verão e utilização de equipamentos eléctricos e iluminação mais eficientes.

O trabalho tornou evidente que a utilização destes sistemas melhora a eficiência energética dos edifícios de habitação, como o do caso de estudo, permitindo também conhecer o período de retorno financeiro das diferentes soluções analisadas.

Palavras-chave: Construção sustentável, Eficiência energética, Isolamento térmico, Necessidades energéticas para climatização, *EnergyPlus*

Abstract

Currently, there is high energy consumption in the buildings sector, in Portugal, which implies an obstacle to the accomplishment of purposes intrinsic to the assumptions of sustainable development and construction.

Therefore, efforts should be made to allow the construction of energy efficient buildings, which is based on the adoption of a set of passive and/or active techniques that strive to reduce the energy consumption of buildings throughout its life cycle, while ensuring comfort for its occupants.

The main objective of this dissertation is to evaluate passive and active proposals for improving energy efficiency in residential buildings, based on the calculation of energy savings associated with air conditioning and the payback period. To this end it was established a case study, using as a base model a building unit of a multifamily building. The initial assessment of energetic performance of this case study and its comparison after the implementation of improvement strategies was done through a dynamic analysis using the EnergyPlus software.

The following solutions were evaluated: application of thermal insulation inside the cavity wall, application of ETICS, more efficient glazing solutions, changing the building's solar orientation, fixed shading devices application, definition of a pattern of night ventilation in the summer and use of more efficient electrical equipment and lighting.

It was found that the use of these systems improves the energy efficiency of buildings, such as the case study, despite of having different payback periods.

Keywords: Sustainable construction, Energy efficiency, Thermal insulation, Air conditioning energetic needs, EnergyPlus

Índice

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Motivação e enquadramento do tema.....	1
1.2 Objectivos e Metodologia	2
1.3 Estrutura do trabalho	2
2. DESENVOLVIMENTO E CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL.....	5
2.1 Desenvolvimento Sustentável	5
2.2 Construção Sustentável	7
2.3 Processo de implementação da construção sustentável.....	16
2.4 Sistemas de avaliação e certificação da construção sustentável.....	20
2.4.1 BREEAM – <i>Building Research Establishment Environmental Assessment Method</i>	21
2.4.2 GBC – <i>Green Building Challenge</i>	23
2.4.3 LEED – <i>Leadership in Energy & Environmental Design</i>	25
2.4.4 LiderA – Sistema Voluntário para Avaliação da Construção Sustentável	26
2.5 Importância da energia na avaliação da construção sustentável.....	28
3. DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS.....	29
3.1 O quadro da construção de edifícios em Portugal	29
3.2 O consumo energético dos edifícios e a sua variação ao longo do tempo.....	31
3.3 Os impactes resultantes do aumento do consumo energético dos edifícios	34
3.4 Enquadramento político-legal	36
3.5 A avaliação do desempenho energético dos edifícios	42
3.5.1 O RCCTE	42
3.5.2 O EnergyPlus enquanto ferramenta dinâmica de avaliação de desempenho.....	46
3.5.3 Análise estática vs Análise dinâmica do desempenho energético dos edifícios.....	47
3.6 O nível de eficiência energética dos edifícios em Portugal.....	49
4. O CONTRIBUTO DAS SOLUÇÕES SUSTENTÁVEIS PARA A MELHORIA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	53
4.1 Soluções passivas	53
4.1.1 Orientação e implantação do edifício	53
4.1.2 Vãos envidraçados.....	55

4.1.3	Sombreamento	56
4.1.4	Ventilação natural.....	57
4.1.5	Envolvente opaca	58
4.2	Soluções activas	64
4.2.1	Coletores solares térmicos	64
4.2.2	Electrodomésticos eficientes	67
4.2.3	Micro-geração	69
4.3	Análise custo-benefício da aplicação de soluções construtivas sustentáveis	71
5.	ANÁLISE DE PROPOSTAS DA MELHORIA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA - UM CASO DE ESTUDO	73
5.1	Apresentação do caso de estudo	73
5.1.1	Descrição do edifício e da fracção autónoma em estudo.....	73
5.1.2	Sistema construtivo base	77
5.2	A Aplicação da ferramenta <i>EnergyPlus</i>	81
5.2.1	Criação do modelo base.....	81
5.2.2	Aplicação das propostas de melhoria da eficiência energética.....	88
6.	ANÁLISE DE RESULTADOS.....	93
6.1	Desempenho energético do modelo base	93
6.2	Desempenho energético após a aplicação das propostas de melhoria de eficiência energética	96
6.3	Análise custo-benefício das soluções	100
7.	CONCLUSÃO.....	103
7.1	Desenvolvimentos futuros	105
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	107
	ANEXOS.....	111
	ANEXO I – Coeficientes de transmissão térmica das soluções adoptadas.....	113
	ANEXO II - Padrões de utilização dos sombreamentos móveis no caso de estudo.....	117
	ANEXO III – Potência dos equipamentos eléctricos para eficiências média e elevada.....	119

ANEXO IV – Padrões de utilização em termos de ocupação, iluminação e equipamentos.....	121
ANEXO V - Cálculos relativos aos custos de produção das soluções de melhoria de eficiência energética.....	125

Índice de Figuras

Figura 2.1 - Objectivos da sustentabilidade na sua tripla dimensão.....	6
Figura 2.2 - Modelo de sistematização dos impactes ambientais da construção.....	8
Figura 2.3 - Evolução das preocupações no sector da construção.....	10
Figura 2.4 – Impactes ao longo do ciclo de vida de uma construção	12
Figura 2.5 - Exemplo do gráfico do SBTool para apresentação dos resultados relativos aos indicadores	25
Figura 2.6 - Esquema dos indicadores e parâmetros do sistema LiderA.....	27
Figura 2.7 - Níveis de desempenho atribuídos pelo sistema LiderA.....	27
Figura 3.1 - Estimativa do número de Fogos e de População, por região, em 2009	29
Figura 3.2 - Distribuição percentual dos edifícios por época de construção, em Portugal.....	30
Figura 3.3 - Reabilitações do edificado e construções novas, Portugal, 1995-2009	31
Figura 3.4 - Dependência energética dos países da União Europeia (%).....	32
Figura 3.5 -Consumo energético, em ktep, por sector, no período de 1990 a 2008	32
Figura 3.6 - Repartição dos consumos pelos vários sectores de actividade económica, em Portugal, no ano de 2008	33
Figura 3.7 - Repartição dos consumos de electricidade pelos diferentes usos finais, em Portugal, no ano de 2004	33
Figura 3.8 - Impactes ambientais dos edifícios, nos EUA.....	34
Figura 3.9 - Utilização de energia, em percentagem, durante o Ciclo de Vida de um edifício	35
Figura 3.10 - Distribuição percentual dos consumos por fonte de energia, em Portugal no ano de 2008	35
Figura 3.11 - Mapa do zonamento climático, segundo o RCCTE.....	43
Figura 3.12 - Princípio da verificação do RCCTE	44
Figura 3.13 - Classes energéticas do SCE.....	45
Figura 3.14 - Explicação do funcionamento do EnergyPlus	46
Figura 3.15 - Distribuição dos certificados energéticos emitidos em Portugal, até Outubro de 2010 ..	50
Figura 3.16 - Valores médios e de referência para o coeficiente de transmissão térmica superficial e necessidades de energia para aquecimento, nos edifícios certificados.....	50
Figura 4.1 - Ângulo de incidência solar nos edifícios durante as estações de Inverno e Verão.....	54
Figura 4.2 - Continuidade de diferentes aplicações de isolamento térmico nas pontes térmicas	60
Figura 4.3 - Composição esquemática de um ETICS.....	61
Figura 4.4 - Representação esquemática de uma parede de Trombe.....	63
Figura 4.5 - Número de m ² de colectores solares instalados anualmente em Portugal, entre 2003 e 2009	65
Figura 4.6 - Esquema de um colector solar térmico com sistema de circulação passivo	66

Figura 4.7 - Esquema de um colector solar térmico com sistema de circulação forçada	66
Figura 4.8 - Modelo da etiqueta da eficiência energética em electrodomésticos	67
Figura 4.9 - Mecanismo de conversão da energia do vento em energia eléctrica	70
Figura 5.1 – Fotografia da fachada principal do edifício em estudo	74
Figura 5.2 – Planta da fracção autónoma em estudo	75
Figura 5.3 – Necessidades e classe de desempenho constantes no Certificado Energético da habitação	76
Figura 5.4 – Esquema geral do processo de simulação com o <i>EnergyPlus</i>	81
Figura 5.5 – Definição dos Parâmetros de Simulação no <i>EnergyPlus</i>	82
Figura 5.6- Definição dos <i>Schedules</i> no <i>EnergyPlus</i>	83
Figura 5.7 – Definição dos materiais constituintes da envolvente no <i>EnergyPlus</i>	84
Figura 5.8 - Definição da geometria dos elementos da envolvente opaca no <i>EnergyPlus</i>	85
Figura 5.9 – Representação esquemática das superfícies da fracção em estudo, efectuada pelo <i>EnergyPlus</i>	86
Figura 5.10 - Definição dos ganhos internos pela ocupação humana, no <i>EnergyPlus</i>	87
Figura 6.1 – Temperaturas médias mensais, interiores e exterior, obtidas através da simulação	93
Figura 6.2 – Comparação das necessidades de climatização da solução base (<i>EnergyPlus</i> vs RCCTE)	94
Figura 6.3 – Contribuição das zonas térmicas para os ganhos internos da fracção, por origem (iluminação, equipamentos e pessoas)	95
Figura 6.4 – Necessidades energéticas com a aplicação de paredes duplas com isolamento térmico no interior	96
Figura 6.5 - Necessidades energéticas com a aplicação de ETICS	97

Índice de Quadros

Quadro 2.1 - Repartição dos consumos médios diários.....	13
Quadro 2.2 - Pontos a analisar em cada fase do processo da construção sustentável	16
Quadro 2.3 - Critérios de implementação do processo operativo da construção sustentável.....	18
Quadro 2.4 - Conjunto de indicadores e parâmetros avaliados pelo sistema BREEAM.....	22
Quadro 2.5 - Conjunto de indicadores e parâmetros avaliados pela ferramenta SBTool.....	24
Quadro 3.1 - Documentos políticos europeus referentes à eficiência energética dos edifícios.....	37
Quadro 3.2 - Medidas nacionais do âmbito da eficiência energética dos edifícios	40
Quadro 3.3 - Coeficientes de transmissão térmica de referência	45
Quadro 3.4 – Principais diferenças entre o RCCTE e o <i>EnergyPlus</i> no que se refere a alguns factores que influenciam o desempenho energético dos edifícios	48
Quadro 4.1 - Vantagens e desvantagens da utilização de ETICS.....	60
Quadro 4.2 - Modo de utilização eficiente da parede de Trombe, ao longo do ano.....	64
Quadro 4.3 - Comparação dos consumos de energia e água entre uma “Família <i>standard</i> ” e uma “Família ecológica”	68
Quadro 4.4 - Vantagens e desvantagens da utilização de painéis solares fotovoltaicos.....	70
Quadro 5.1 – Área útil das dependências da fracção autónoma em estudo.....	76
Quadro 5.2 – Pormenor construtivo e características térmicas da envolvente opaca em zona corrente.....	78
Quadro 5.3 – Pormenor construtivo e características térmicas da envolvente opaca em ponte térmica plana	78
Quadro 5.4 – Pormenor construtivo e características térmicas do pavimento.....	79
Quadro 5.5- Pormenor construtivo e características térmicas da parede da caixa de elevador	80
Quadro 5.6 – Pormenor construtivo e características térmicas da parede em contacto com a zona comum.....	80
Quadro 5.7 – Algumas soluções passivas para a melhoria da eficiência energética de uma habitação situada na zona I1-V2.....	89
Quadro 5.8 – Coeficientes de transmissão térmica das soluções de parede dupla utilizados no caso de estudo	91
Quadro 5.9 - Coeficientes de transmissão térmica das soluções de ETICS utilizados no caso de estudo	91
Quadro 6.1 – Necessidades energéticas para climatização da solução base.....	94
Quadro 6.2 - Necessidades energéticas para climatização da fracção autónoma, com orientação a Norte	98
Quadro 6.3 - Necessidades energéticas para climatização da fracção autónoma, com orientação a Sul	99

Quadro 6.4 – Viabilidade financeira da aplicação das diferentes propostas de melhoria estudadas...	101
Quadro 7.1 – Quadro síntese dos principais resultados obtidos com a análise do caso de estudo	104

LISTA DE ABREVIATURAS SIGLAS E SÍMBOLOS

AQS – Águas quentes sanitárias
BRE - *Building Research Establishment*
BREEAM - *Building Research Establishment Environmental Assessment Method*
CASBEE - *Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency*
CE – Comissão Europeia
CEE – Comunidade Económica Europeia
CO₂ - Dióxido de carbono
DGEG - Direcção Geral de Energia e Geologia
DGGE – Direcção Geral de Geologia e Energia
EPS - Poliestireno expandido
ETICS - Sistemas de isolamento térmico pelo exterior
GBC - *Green Building Challenge*
GEE - Gases de efeito de estufa
HQE - *Haute Qualité Environnementale des Bâtiments*
IEE - *Intelligent Energy Europe*
INE - Instituto Nacional de Estatística
IPA - Inovação e Projectos em Ambiente, Lda
LEED - *Leadership in Energy & Environmental Design*
LiderA - Liderar pelo ambiente na procura da sustentabilidade na construção
NABERS - *National Australian Built Environment Rating System*
PIB - Produto Interno Bruto
RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
RSECE - Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios
SCE - Sistema de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios
U – Coeficiente de transmissão térmica
UE – União Europeia
USGBC - *United States Green Building Council*
XPS - Poliestireno extrudido

1. INTRODUÇÃO

1.1 Motivação e enquadramento do tema

No actual contexto mundial são cada vez mais prementes as preocupações com o processo do desenvolvimento sustentável. O conceito de sustentabilidade, tal como o conhecemos hoje, surgiu na década de 80 através do Relatório de Brundtland, que referia que “desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento que satisfaz as necessidades actuais sem comprometer a capacidade das gerações futuras em satisfazerem as suas próprias necessidades” [1].

No seguimento do paradigma do desenvolvimento sustentável, surgiu o conceito de construção sustentável, cujo objectivo principal é a “criação e gestão responsável de um ambiente construído saudável, tendo em consideração os princípios ecológicos e a utilização eficiente de recursos” [2].

Um dos maiores entraves ao desenvolvimento sustentável global é o crescimento do consumo mundial de energia e os impactes da sua utilização no meio ambiente.

Portugal é um país que se caracteriza por consumos de energia crescentes, por uma produção de energia reduzida e, conseqüentemente, por uma forte dependência da importação de fontes de energia para satisfazer os seus consumos. Em 2008, a dependência energética do exterior era de 83% do total de energia primária consumida no país, o que coloca Portugal no sexto lugar dos países da União Europeia com maior dependência energética externa, e 37% acima da média dos restantes países [3].

Em média, 25% do total nacional da energia é consumida pelo sector dos edifícios, mas este número aproxima-se dos 40% nas grandes cidades, onde se concentra também a grande maioria da população [4]. Por este motivo, e dado o ritmo de construção de edifícios, considera-se o sector dos edifícios como um dos sectores que maior potencial apresenta em termos de poupança de energia.

O consumo de energia é assim um dos principais factores a controlar com vista a uma maior sustentabilidade no sector da construção, devendo ser adoptadas estratégias que promovam uma maior eficiência energética nos edifícios.

Uma das principais causas do elevado consumo energético dos edifícios é o facto de estes apresentarem um comportamento dissipativo, devido à não utilização de eficientes soluções de isolamento térmico, o que leva à inadequada utilização de equipamentos de climatização.

Torna-se, assim, particularmente importante que os profissionais do sector contribuam para inverter a tendência, adoptando uma concepção sustentável dos edifícios, através do recurso a técnicas passivas e/ou activas que melhorem a sua eficiência energética, sem que contudo essa acção contribua para o significativo aumento do custo de produção do edifício.

1.2 Objectivos e Metodologia

A construção de um edifício energeticamente eficiente assenta na adopção de um conjunto de técnicas que visem reduzir os consumos energéticos do edifício ao longo do seu ciclo de vida, garantindo ao mesmo tempo conforto aos seus ocupantes.

O estudo e optimização da eficiência energética é, no quadro da construção sustentável, um dos seus principais pilares, pela importância dos seus princípios no contributo para uma eficiente e progressiva poupança de energia nas edificações.

Importa para o tema conhecer o quadro actual dos edifícios em Portugal e o seu nível de desempenho energético, tornando evidentes os impactes resultantes do seu funcionamento. Só assim se torna possível estabelecer uma base de trabalho para a apresentação de propostas que melhorem a eficiência energética do parque edificado português.

O principal objectivo da presente dissertação é, através da avaliação do desempenho energético dos edifícios de habitação, contribuir para a validação de propostas passivas e/ou activas de melhoria da eficiência energética neste tipo de edifícios. Este contributo é validado através da análise de um caso de estudo referente a uma fracção autónoma de um edifício multifamiliar.

A avaliação do desempenho energético será feita com base na análise das necessidades de climatização derivadas da manutenção da temperatura interior da habitação no intervalo de conforto térmico considerado (20°C-25°C).

Apesar de existir um sistema de avaliação da eficiência energética em vigor em Portugal, que tem como base o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), nesta dissertação será elaborada uma análise dinâmica do desempenho energético da habitação em estudo e serão avaliadas diferentes soluções que se considera poderem contribuir para o aumento da eficiência energética. Para isso decidiu-se utilizar a ferramenta de cálculo dinâmico *EnergyPlus*. A escolha deste software prende-se com o facto de se tratar de um programa que permite incorporar padrões de utilização dinâmicos, adaptando também a análise às flutuações das condicionantes climáticas da região, factores que possibilitam uma maior aproximação do estudo à realidade.

Com base no caso de estudo, pretende-se tornar evidente a valia de várias propostas de melhoria do nível de desempenho energético, avaliando, por um lado a poupança energética associada à climatização, e por outro a relação custo-benefício da sua aplicação, procurando determinar a sustentabilidade de cada solução.

1.3 Estrutura do trabalho

Para o desenvolvimento desta dissertação optou-se por dividir o trabalho em oito capítulos.

No primeiro capítulo definiu-se o enquadramento geral do tema em estudo, fazendo uma breve

descrição do papel do sector da construção no panorama energético mundial e enfatizando a importância da redução do consumo energético para o alcançar de um desenvolvimento sustentável. Neste capítulo são ainda apresentados os objectivos gerais do trabalho que se pretendem alcançar, assim como a definição da estrutura da dissertação.

O segundo capítulo incide numa breve descrição do paradigma do desenvolvimento sustentável, sua história e objectivos.

O terceiro capítulo aborda a temática da construção enquanto veículo do desenvolvimento sustentável, sendo feita uma análise de aspectos como o ciclo de vida da construção, a influência deste sector na gestão de recursos como a água ou a energia ou a problemática da gestão de resíduos. Ainda neste capítulo é apresentado o processo de implementação da construção sustentável e alguns dos seus sistemas de avaliação e certificação.

No quarto capítulo é analisado o desempenho energético dos edifícios em Portugal, estudando o quadro da construção e do consumo energético do parque edificado do país. Ainda neste capítulo apresenta-se o enquadramento político-legal das questões relacionadas com a eficiência energética em edifícios e aborda-se alguns métodos de avaliação do desempenho energético dos edifícios (RCCTE e *EnergyPlus*).

No quinto capítulo descrevem-se as principais estratégias, passivas e activas, que podem ser aplicadas para a melhoria da eficiência energética num edifício.

No sexto capítulo apresenta-se o caso de estudo e faz-se uma descrição do sistema base que servirá de comparação às propostas de melhoria a aplicar. Ainda neste capítulo descreve-se a metodologia de inserção do caso de estudo no software de avaliação e apresentam-se as propostas e estratégias de melhoria efectivamente aplicadas.

O sétimo capítulo corresponde à análise dos resultados obtidos em termos de desempenho energético e procede-se a uma análise custo-benefício simples da implementação das propostas.

No oitavo capítulo apresentam-se as conclusões finais do trabalho e definem-se alguns temas para desenvolvimento futuro.

2. DESENVOLVIMENTO E CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL

2.1 Desenvolvimento Sustentável

As preocupações com a preservação do meio ambiente existem há vários séculos. Em 1273, a proibição da queima do carvão em Londres foi levada tão a sério que conduziu à aplicação da pena de morte por infracção. Também Stuart Mill, no seu livro sobre os princípios da economia política editado em 1848, chamou a atenção para os problemas dos recursos naturais esgotáveis. A possibilidade de ruptura ambiental foi ainda analisada por Pigou, em 1932, chamando a atenção para fenómenos como o efeito do fumo das locomotivas e das fábricas [5].

No entanto, só a partir dos anos 60, sobretudo depois dos trabalhos do Clube de Roma, se começou a dar mais atenção aos limites do crescimento e às necessidades de gerir os recursos naturais de forma mais cuidada. É neste contexto que surge, em 1987, com a Comissão Mundial do Ambiente e do Desenvolvimento, através do Relatório de Brundtland, o conceito de desenvolvimento sustentável que refere que “Desenvolvimento Sustentável é o desenvolvimento que satisfaz as necessidades actuais sem comprometer a capacidade das gerações futuras em satisfazerem as suas próprias necessidades” [1].

Esta definição propõe a busca de um equilíbrio entre os níveis de desenvolvimento e o uso de recursos naturais, de modo a que o desenvolvimento ocorra sem prejudicar o meio ambiente e sem esgotar as fontes de recursos naturais, necessárias para a utilização por gerações futuras [6].

O desenvolvimento sustentável é visto como um processo dinâmico onde a exploração de recursos naturais, a direcção dos investimentos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e as mudanças institucionais são compatibilizadas com as necessidades actuais e futuras [1].

O Relatório de Brundtland teve como objectivo alertar para uma problemática emergente, definindo como ideias principais a necessidade de preservação dos recursos existentes e de organização do modo de desenvolvimento da sociedade. No entanto, este relatório não apresentou uma lista de acções a serem tomadas pelos estados, nem definiu metas internacionais para a concretização do objectivo do desenvolvimento sustentável [6].

A primeira grande cimeira em que isso aconteceu foi a Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente e Desenvolvimento (1992), no Rio de Janeiro, da qual resultou a elaboração da Agenda 21. Este documento estabeleceu as acções a serem tomadas, local e globalmente, pelos governos, empresas, organizações não governamentais e outros sectores da sociedade, relativamente ao estudo de soluções para os problemas socio-ambientais [7].

Cada país ou região ficou com a competência de definir as suas próprias directrizes para o desenvolvimento sustentável, com base nos princípios da Agenda 21, através da preparação e implementação de um plano estratégico de acção a longo prazo.

Com a Agenda 21, começou também a alterar-se o conceito de desenvolvimento sustentável,

concluindo-se que este deve ter como base não só as preocupações ambientais, mas também ter em linha de conta factores sociais e económicos.

O conceito de desenvolvimento sustentável visa minimizar os impactes ambientais da actuação do Homem sobre a natureza, procurando alertar para a necessidade de reduzir o consumo de recursos e a produção de resíduos e preservar a função e a biodiversidade dos sistemas naturais.

Se a sociedade promove, incontestavelmente, um aumento do nível de vida médio da sua população, também dá lugar a efeitos perversos que se manifestam sob a forma de assimetrias económico-sociais e de exploração desenfreada do ambiente.

Grande parte dos problemas ambientais surgem devido à acção humana e, portanto, a sua resolução exige obrigatoriamente a alteração de comportamentos e hábitos dos indivíduos. Por este motivo, aquando da definição de estratégias de desenvolvimento sustentável, é necessário ter em consideração os aspectos sociais que integram o bem-estar individual, as relações interpessoais e as diferentes culturas. Além disso, a concretização destes objectivos não é conseguida sem que haja uma consciencialização da sociedade para a necessidade de alterar determinados comportamentos, o que exige uma participação activa das populações, de modo a ser possível aliar a satisfação das necessidades dos indivíduos às preocupações ambientais.

Enquanto força motriz da acção humana, a economia é sempre um dos aspectos a ter em conta nestes processos, pelo que a procura de soluções que levem à prevenção e resolução dos problemas ambientais terão de comportar necessariamente políticas de desenvolvimento económico sustentável [6].

É com base nestes pressupostos que se definiu a sociedade, a economia e o ambiente como sendo os três pilares do desenvolvimento sustentável. Na Figura 2.1 apresentam-se os objectivos de sustentabilidade a atingir para cada uma dessas áreas.



Figura 2.1 - Objectivos da sustentabilidade na sua tripla dimensão [6]

Andrew Sage (1998) reforçou a ideia de que o desenvolvimento sustentável devia ter como pressupostos o progresso sociocultural e a preservação ambiental (através de uma utilização controlada dos recursos naturais) aliados a uma evolução económica e tecnológica, baseadas na eficiência e competitividade produtiva [8].

Como resultado das várias cimeiras internacionais definiu-se uma série de objectivos gerais a ser atingidos com vista à obtenção de um desenvolvimento mais sustentável [9]:

- Manter a qualidade e diversidade dos ecossistemas, sem comprometer a sua capacidade de suportar a vida animal, vegetal e humana;
- Utilizar eficientemente os recursos naturais, recorrendo maioritariamente a fontes recicláveis;
- Minimizar a poluição, nomeadamente controlando a produção de resíduos e a emissão de gases poluentes;
- Satisfazer as necessidades da população (habitação, educação, lazer, alimentação, saúde), fomentando a melhoria da qualidade de vida e a equidade social.

2.2 Construção Sustentável

A população mundial tem vindo a crescer ao longo dos anos. Segundo as Nações Unidas, em 2010 a população era de cerca de 6900 milhões de habitantes e, com base em prospecções da mesma entidade, será de 9300 milhões de habitantes, em 2050 [10].

O rápido crescimento demográfico a nível mundial aumenta as necessidades de habitação, infra-estruturas de transporte, comunicações, abastecimento de água e energia. Este crescimento confere especial importância ao sector da construção sendo, por isso, considerado, em conjunto com a gestão do ambiente edificado, uma área-chave para atingir o desenvolvimento sustentável numa sociedade [7].

Os edifícios, as infra-estruturas e o meio ambiente estão intimamente relacionados, visto que a energia, a água e o solo são recursos bastante consumidos na construção, utilização e manutenção de das construções. O consumo descontrolado dos recursos naturais resulta em impactes ambientais que de alguma forma afectam a vida, o bem-estar e a saúde das populações.

Pinheiro (2006) catalogou estes impactes, propondo um modelo conceptual de sistematização dos impactes baseado numa análise em quatro dimensões, representadas na Figura 2.2.

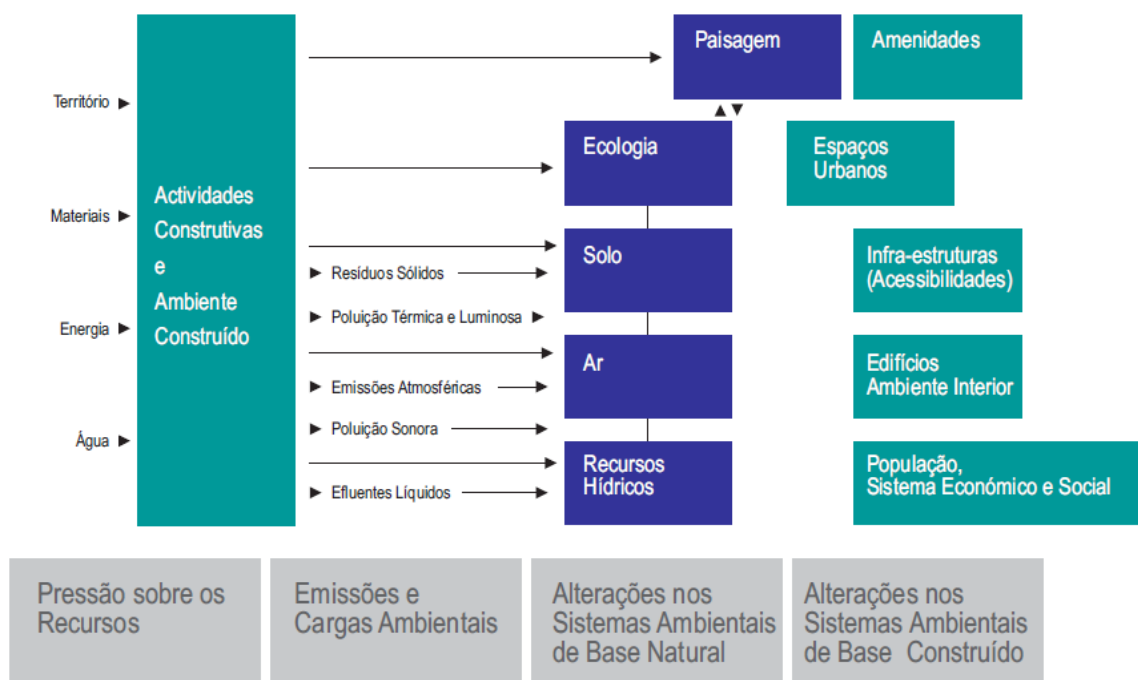


Figura 2.2 - Modelo de sistematização dos impactes ambientais da construção. [6]

Para fazer face à necessidade de adaptar o sector da construção ao processo de desenvolvimento sustentável da sociedade surge, nos anos 90, o conceito de construção sustentável.

Em 1994, realiza-se a Primeira Conferência Internacional sobre a Construção Sustentável, em Tampa, na Florida, onde Charles Kibert apresentou um conceito para a construção sustentável, definindo-a como a “criação e gestão responsável de um ambiente construído saudável, tendo em consideração os princípios ecológicos e a utilização eficiente de recursos”, considerando o solo, os materiais, a energia e a água como os recursos mais importantes para a construção. É a partir destes pressupostos que Kibert estabelece os seguintes princípios para a construção sustentável [2]:

- Reduzir o consumo de recursos naturais;
- Maximizar a reutilização de recursos;
- Reciclar materiais em fim de vida do edifício e usar recursos recicláveis;
- Eliminar os materiais nocivos em todas as fases do ciclo de vida;
- Gerir de forma equilibrada os recursos com vista à protecção do ambiente e dos ecossistemas.

Em 1996, com a conferência das Nações Unidas, realizada em Istambul, elaborou-se a Agenda Habitat II, que tem como objectivos principais fomentar a igualdade de acesso à habitação e promover o desenvolvimento sustentável dos aglomerados populacionais. Neste documento defende-se que a qualidade de vida e bem-estar pessoal dependem das condições físicas e características espaciais dos aglomerados habitacionais, para além de outros factores económicos, sociais, ambientais e culturais.

Esta questão é especialmente relevante nas zonas densamente povoadas, onde vive a maior parte da população, para a qual a habitação é um requisito essencial para a qualidade de vida [11].

Os objectivos principais da Agenda Habitat II em relação à construção passam por “promover e adoptar, onde apropriado, políticas que coordenem e encorajem o fornecimento adequado dos recursos (solo, financiamento e materiais) necessários à construção de casas e infra-estruturas” e “encorajar o desenvolvimento de métodos de construção sustentáveis, fomentando a indústria local e consumo de recursos obtidos regionalmente” [11].

Como consolidação das estratégias definidas anteriormente, adoptou-se, em 1999, a Agenda 21 para a construção sustentável, que pretende funcionar como uma aplicação dos princípios da Agenda 21 internacional ao sector da construção, apresentando os conceitos principais para a indústria da construção civil atingir um nível mais sustentável [7].

O sector da construção é fundamental para o desenvolvimento sustentável nas suas três dimensões (social, económica e ambiental). A construção é um sector cada vez mais importante em termos de conforto e qualidade de vida dado que, actualmente, as pessoas passam em média 90% do seu tempo no interior de edifícios, seja para habitar ou para trabalhar, tendo por isso uma grande relevância para o bem-estar social [6]. A construção é também importante para o desenvolvimento económico de uma sociedade, uma vez que emprega um elevado número de pessoas. Segundo dados de 2010, na União Europeia este sector emprega 13,9 milhões de pessoas, o que equivale a 6,6% do total de emprego e 29% do emprego na indústria. A actividade no sector da construção corresponde a 9,7% do Produto Interno Bruto (PIB) da União Europeia [12]. Do ponto de vista ambiental, o parque edificado é responsável por aproximadamente 40% de energia consumida, 30% de recursos naturais utilizados, 20% de água gasta e 10% de solo usado, além de ser responsável por 40% das emissões de dióxido de carbono e pela produção de 30% de resíduos sólidos e 20% de efluentes [13].

Com base nesta realidade, houve uma evolução nas preocupações do sector da construção civil. Enquanto a construção tradicional se centra apenas em questões de qualidade, tempo e custos, a construção sustentável acrescenta as vertentes ambiental e social ao paradigma existente, através da minimização do consumo de recursos, redução das emissões e preocupação com a saúde. Na Figura 2.3 demonstra-se como a indústria da construção se torna mais abrangente quando os parâmetros socioculturais e económicos são apresentados num contexto global, em conjunto com as preocupações ambientais [14].

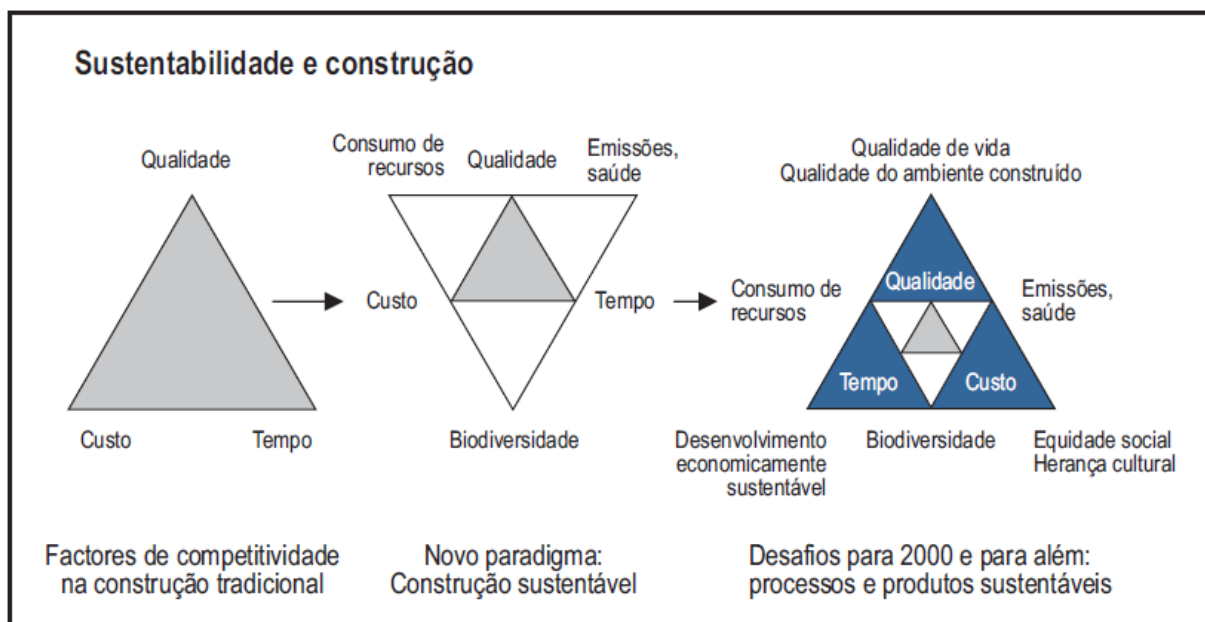


Figura 2.3 - Evolução das preocupações no sector da construção [6]

O paradigma da construção sustentável tornou necessária a criação de um conjunto de procedimentos e regras construtivas com base nos critérios e princípios associados ao desenvolvimento sustentável, tendo em vista uma redução do uso de recursos naturais, do consumo de energia e da produção de resíduos em excesso, promovendo a melhoria da qualidade de vida da população [7].

O desafio da engenharia civil actual consiste em aliar as formas e métodos de construção ao aumento da eficiência ambiental e ecológica. Os critérios de sustentabilidade aplicados à construção têm como intuito introduzir condições que permitam, por um lado minimizar os efeitos negativos resultantes da fraca qualidade do parque edificado existente, intervindo ao nível da reabilitação, bem como aumentar a qualidade da construção de novos edifícios.

Estas melhorias tornam-se apenas possíveis através da aplicação do desenvolvimento sustentável ao sector da construção, agindo ao longo de todo o ciclo de vida de um edifício, desde a fase de projecto, passando pela construção e operação da infra-estrutura, até à sua desactivação [7].

A fase de projecto é uma das fases mais importantes em todo o processo de construção, visto ser nesta altura que se tomam decisões que irão ter repercussões nas restantes fases do ciclo de vida do edifício, nomeadamente, no que diz respeito ao local e materiais a utilizar, bem como às necessidades energéticas e de água. Nesta fase, os impactes ambientais directos são muito reduzidos (e.g.: transporte e deslocações, consumos e emissões associados à operação em escritórios). No entanto, as decisões que se tomam nesta fase podem influenciar, indirectamente, os impactes ambientais que se verificam posteriormente [6].

A fase de construção consiste na operacionalização do que foi definido na fase de projecto e

dura até à recepção da obra por parte do proprietário, sendo os principais problemas de sustentabilidade o tipo de materiais utilizados na construção, assim como a energia dispendida e os resíduos produzidos. É nesta fase que se verificam as maiores alterações aos sistemas ambientais, especificamente em termos de ocupação do solo e alterações nos ecossistemas e na paisagem [6].

A fase de operação corresponde ao período de tempo que vai desde a recepção da obra por parte do proprietário até ao fim da sua utilização, incluindo as actividades de manutenção e renovação. Esta é a fase com maior representatividade temporal ao longo do ciclo de vida de um edifício e, portanto, é aquela em que se verifica uma maior acumulação dos impactes ambientais. Enquanto as fases de projecto e construção estão associadas a durações mais curtas, entre alguns meses a poucos anos, a fase de operação pode-se estender por muitos anos. Em geral, na actualidade, os edifícios são projectados para um tempo de vida médio de 40 anos, embora alguns dos edifícios e estruturas existentes possam ultrapassar os 100 anos [6]. Segundo dados do Instituto Nacional de Estatística (INE), em Portugal, cerca de 18% do parque edificado foi construído antes de 1945 [15]. Isto significa que os impactes resultantes desta fase, que correspondem nomeadamente ao consumo de energia, água, materiais e produção de resíduos, cargas poluentes e emissões atmosféricas, têm efeitos muito duradouros [6].

A fase de desactivação corresponde ao fim do ciclo de vida do edifício e corresponde à sua demolição. Nesta fase destaca-se, enquanto maior impacte ambiental, a produção de resíduos. Os restantes impactes são, no geral, mais reduzidos, nomeadamente o consumo de materiais, de energia e as emissões ao nível do ruído e vibrações [6].

A Figura 2.4 sistematiza os principais impactes e preocupações ao nível dos pilares do desenvolvimento sustentável (social, económico e ambiental), ao longo de todo o ciclo de vida de um edifício.

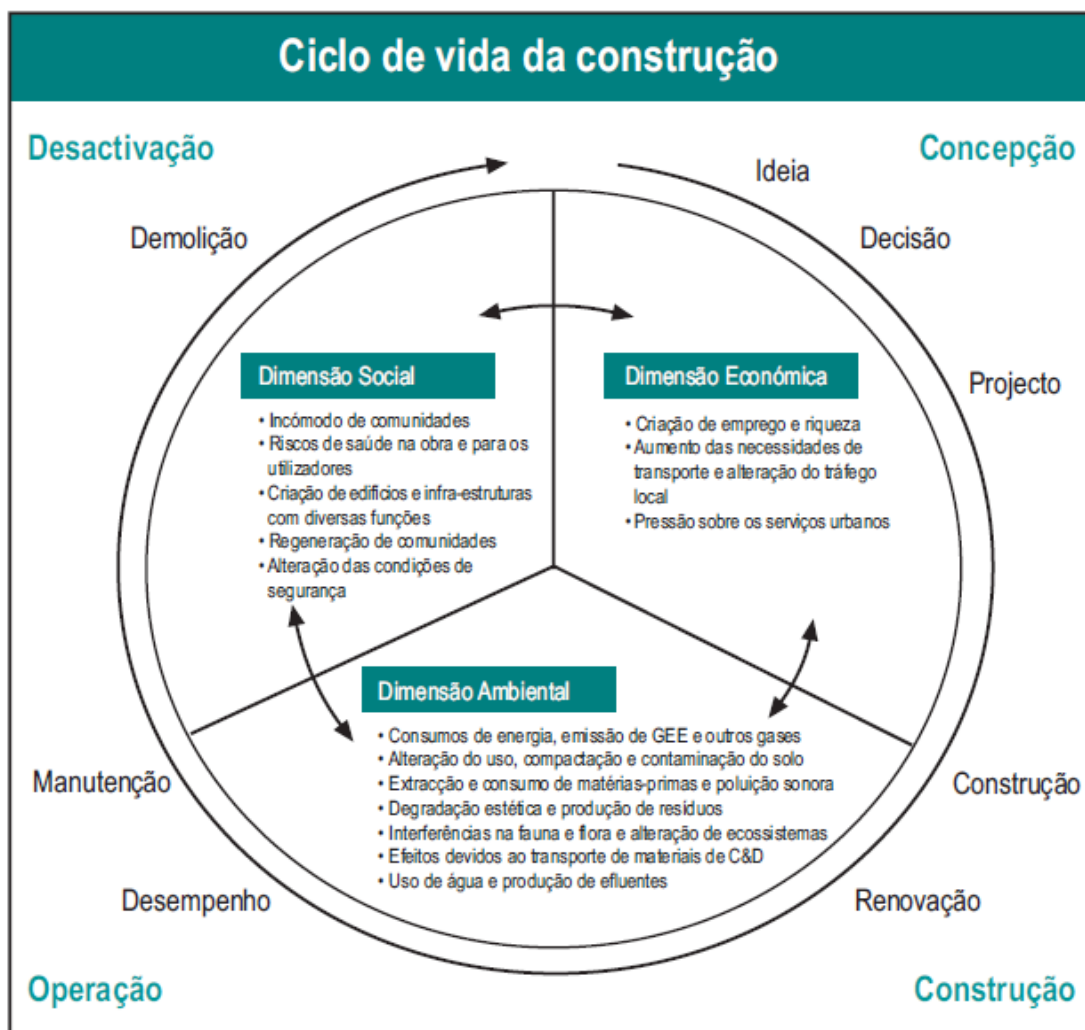


Figura 2.4 – Impactes ao longo do ciclo de vida de uma construção [6]

Com a consciencialização das problemáticas ao nível do desenvolvimento sustentável, associadas ao ciclo de vida de um edifício, torna-se importante definir estratégias que permitam a implementação de acções passivas e processos construtivos rigorosos que impulsionem a construção sustentável.

Um dos objectivos da construção sustentável é construir uma habitação sem prejudicar o ambiente, tendo em conta o seu ecossistema particular, tentando obter condições de temperatura, conforto e humidade relativa que resultem num aumento da qualidade de vida dos habitantes.

As principais metas de sustentabilidade para a construção abrangem diversos aspectos que incluem: o consumo eficiente de energia e o aproveitamento de energias renováveis; redução da emissão de gases de efeito de estufa (GEE); consumo eficiente de água com aproveitamento de águas pluviais e reciclagem de águas residuais; reutilização dos resíduos produzidos durante a construção, funcionamento e demolição do edifício; a qualidade do ar interior e o desempenho acústico [16].

A ligação entre a construção sustentável e o ambiente, implica a adopção de procedimentos que minimizem os consumos, aumentem a eficiência e preservem a utilização de recursos naturais,

salvaguardando as gerações vindouras. Deste modo, a implementação de um conceito de construção sustentável deve envolver a análise de um conjunto de elementos estruturais como a água, energia (conforto térmico, iluminação, humidade relativa), qualidade do ar, materiais e resíduos.

Gestão da água

A água é um recurso natural essencial à humanidade, sendo indispensável à maioria das actividades económicas e desempenha um papel fundamental no desenvolvimento da sociedade.

Segundo Baptista, a maior fatia da utilização de água em Portugal corresponde ao sector agrícola (87% do total), seguido da utilização doméstica (8% do total) e, por fim, a indústria transformadora (5% do total). No que diz respeito ao custo de extracção da água, o sector agrícola apenas acarreta com 28% dos custos, enquanto o sector industrial corresponde a 26%. O sector urbano, apesar de apenas consumir 8% do total do volume de água utilizada, é o que tem os maiores custos de extracção associados (46% do total) [17].

Quando falamos no consumo de água no sector da construção, e tendo em conta o ciclo de vida dos edifícios, a água utilizada na fase de construção representa cerca de 0,2 m³/m² de construção, enquanto na fase de utilização o consumo aumenta fortemente, dependendo do tipo de habitação e do número de habitantes. Durante as fases de projecto e desconstrução, o consumo da água é desprezável pois, comparando com as restantes fases, o seu impacto é mínimo [18].

O consumo de água numa habitação varia, dependendo de factores socioeconómicos e das próprias características da residência. Em termos de consumos médios verifica-se, aproximadamente, um valor de 160l/hab.dia para habitações unifamiliares e de 140l/hab.dia para habitações multifamiliares [19].

O consumo doméstico é distribuído por diferentes tipos de utilização, tal como demonstrado no Quadro 2.1:

Quadro 2.1 - Repartição dos consumos médios diários [19, 20]

UTILIZAÇÕES	CONSUMO (L/HAB.DIA)			
	Edifício multifamiliar		Edifício unifamiliar	
Autoclismo	43	31%	43	27%
Torneiras	22	16%	22	14%
Banho/Duche	52	37%	52	32%
Máquina de lavar roupa	13	9%	13	8%
Máquina de lavar louça	3	2%	3	2%
Perdas	7	5%	7	4%
Exterior	--	--	20	13%
Total (litros/hab.dia)	140		160	

Face à probabilidade de vir a ocorrer uma escassez de água num futuro próximo, é fundamental desenvolver-se um conjunto de medidas que aumente a eficácia do uso de água e promova um desenvolvimento mais sustentável. Assim sendo, no processo da construção sustentável, é importante incorporar medidas que reduzam o consumo de água, nomeadamente utilizando dispositivos mais eficientes (torneiras, máquinas de lavar louça e roupa, chuveiros, autoclismos), reduzindo as perdas nos sistemas de abastecimento prediais e recorrendo a um sistema de aproveitamento de águas pluviais e águas cinzentas [19, 20].

Energia

O sector da construção é responsável por um elevado consumo de energia que provém, maioritariamente de fontes não renováveis como o petróleo, o carvão ou o gás natural. A utilização deste tipo de fontes necessita de um processo de combustão que tem como produto a formação de CO₂, o que está associado ao efeito de estufa. Além disso, a fase de exploração e transformação da energia é responsável pela produção de resíduos e pela contaminação da água e solos. Deste modo é cada vez mais importante a utilização de fontes de energia renováveis, como torres eólicas ou painéis fotovoltaicos [6].

Em termos de utilização de energia ao longo do ciclo de vida de um edifício, a fase de construção é apenas responsável por 12% do total do consumo energético. A utilização que se dá ao edificado, nomeadamente dos equipamentos de aquecimento, ventilação, aquecimento de águas e equipamentos eléctricos, é responsável pela maioria do consumo energético do edifício [21].

O elevado consumo de energia verificado nas habitações deve-se, em geral, ao aumento do nível de vida da população e consequente procura de ambientes mais confortáveis no que diz respeito à temperatura interior. Para contrariar esta tendência deve-se privilegiar a melhoria da eficiência energética, utilizando estratégias passivas e activas que resultem numa redução do consumo de energia.

Qualidade do ar interior

A qualidade do ar no interior dos edifícios é um dos factores básicos para o conforto dos utilizadores e é maioritariamente um problema durante a fase de utilização de um edifício. As causas mais comuns da perda de qualidade do ar são poeiras e partículas em suspensão, odores, fumos e gases de combustão.

É também cada vez mais frequente a colocação de sistemas de ventilação artificial no interior dos edifícios, o que contribui para o aumento da contaminação do ar interior, uma vez que estes sistemas de ventilação artificial acumulam toxinas e propiciam o desenvolvimento de fungos, bactérias e outros microrganismos que podem ser prejudiciais à saúde dos ocupantes [22].

Na perspectiva da construção sustentável, devem ser adoptadas estratégias que contrariem a perda de qualidade do ar interior, como por exemplo a adequação dos espaços ao número de

utilizadores e actividades lá desenvolvidas e a optimização das condições de ventilação (preferencialmente natural) [23].

Materiais

A escolha dos materiais a utilizar é feita essencialmente na fase de projecto e deve ter como base a sua performance ambiental, durabilidade e adaptabilidade às condições do local de aplicação. Quanto maior a durabilidade e adaptabilidade dos materiais escolhidos, maior será o seu tempo de vida útil e, portanto, menor será a necessidade de manutenção ou substituição dos materiais, reduzindo o consumo e a criação de resíduos.

Ao escolher os materiais deve-se também ter em conta a energia dispendida na extracção, fabrico e transporte, devendo escolher-se, preferencialmente, materiais produzidos próximos do local da construção. Deve-se ainda privilegiar materiais naturais ou reciclados e que sejam possivelmente recicláveis no futuro [7].

Resíduos

Os resíduos de construção e demolição incluem os desperdícios provenientes de remodelações, demolições e obras novas de construção civil e são constituídos maioritariamente por materiais como argamassas, restos de tijolo, betão armado, terra e embalagens.

O sector da construção gera uma quantidade de resíduos de construção e demolição equivalente a 22% do total de resíduos da União Europeia [24]. Estes resíduos contêm percentagens elevadas de materiais inertes reutilizáveis e recicláveis, cujos destinos deverão ser potenciados, o que contribuiria também para a diminuição da utilização de recursos naturais e dos custos de deposição final em aterros.

Dada a importância do controlo e gestão de resíduos para a protecção ambiental, criou-se em Portugal um Regime Geral de Gestão de Resíduos que regula do ponto de vista jurídico a criação e gestão dos resíduos, onde se incluem os gerados pela construção e demolição [24].

Com a construção sustentável tem-se procurado desenvolver um conjunto de práticas de boa gestão de resíduos, em que se incluem o incentivo à reabilitação de edifícios degradados, evitando a sua demolição, minimizando o uso de materiais compósitos, criando projectos flexíveis que possam ser modificados no futuro (em virtude da alteração da função do edifício) e utilizando acabamentos de reparação simples [25].

2.3 Processo de implementação da construção sustentável

Em Portugal, verifica-se um vazio legislativo no que diz respeito à regulação da actividade da construção que introduza o conceito de desenvolvimento sustentável. As únicas áreas em que existe obrigatoriedade regulamentar são a da Certificação Energética e Qualidade do Ar Interior de edifícios habitacionais e de serviços e a da gestão de resíduos de construção e demolição através do Regime Geral de Gestão de Resíduos [16].

A legislação específica relativa à sustentabilidade do ciclo de vida do edifício, especificamente no que diz respeito aos impactes do sector da construção no meio envolvente, é bastante reduzida e quase incipiente, especialmente quando comparada com o período de vida de um edifício e com todos os procedimentos a ele inerentes [16].

Dada a inexistência de um quadro legal completo face às necessidades verificadas, a adopção de práticas construtivas potenciadoras da construção sustentável está dependente da acção e consciência individual dos diversos intervenientes no processo. Com base nesta realidade, e tendo em vista a uniformização de métodos de actuação e a diminuição dos riscos ambientais associados à construção de edifícios, tem-se vindo a criar um processo operativo de construção sustentável que se aplique a todas as fases do ciclo de vida do edifício, permitindo definir as medidas de intervenção em cada fase.

Como primeiro passo deste processo, deve-se analisar uma série de factores que podem influenciar a sustentabilidade, ao longo de todo o ciclo de vida do edifício. No Quadro 2.2 são apresentados os pontos-chave a analisar em cada fase do processo da construção sustentável.

Quadro 2.2 - Pontos a analisar em cada fase do processo da construção sustentável (Adaptado de [16, 23])

FASES DO PROCESSO	PONTOS A ANALISAR
Avaliação do projecto pretendido	<ul style="list-style-type: none">- Definição clara das actividades e utilizações do edifício;- Definição dos requisitos socioeconómicos e culturais;- Avaliação do conforto ambiental pretendido;- Avaliação energética para a maximização da eficiência.
Análise da envolvente	<ul style="list-style-type: none">- Localização;- Orientação solar;- Ventos predominantes;- Pluviosidade;- Nível de ruído;- Características dos ecossistemas envolventes.

FASES DO PROCESSO	PONTOS A ANALISAR
Projecto	<ul style="list-style-type: none"> - Eficiência energética; - Qualidade do ar interior; - Sistema para diminuição do consumo de água potável; - Redução/reutilização de resíduos; - Conforto ambiental interior; - Segurança dos ocupantes; - Sistema construtivo que permita alteração do espaço interior; - Acessibilidades; - Serviços; - Transportes alternativos.
Construção	<ul style="list-style-type: none"> - Procedimentos e rotinas de execução sustentáveis; - Controlo/optimização de materiais; - Selecção de materiais mais ecológicos, produzidos em fábricas mais perto do local de obra; - Redução dos impactes ambientais temporários; - Procedimentos de higiene, segurança e saúde no trabalho.
Utilização	<ul style="list-style-type: none"> - Elaboração de um manual de utilização do edifício; - Lista de materiais, produtos e fornecedores; - Controlo da utilização dos espaços.
Monitorização/Manutenção	<ul style="list-style-type: none"> - Avaliação da eficiência do edifício em espaços de tempo pré-definidos; - Comparação entre os vários períodos; - Correção em caso de mau funcionamento.
Desconstrução	<ul style="list-style-type: none"> - Manual de procedimentos; - Listagem de materiais a reciclar, reutilizar e eliminar; - Riscos no procedimento.

Tendo como base os pontos analisados e com vista a garantir os objectivos da construção sustentável, é necessário desenvolver um conjunto de metodologias operativas nos diversos níveis do ciclo de vida de um edifício, intervindo maioritariamente ao nível do projecto, construção, utilização e manutenção.

Esse contributo metodológico, baseado nos aspectos previamente analisados, deve reger-se por um plano preciso e definido, onde se estabeleçam claramente os objectivos gerais que conduzam a um

conforto ambiental e à minimização dos impactes da construção. Este programa operativo pode ser adaptado às várias fases do processo e deve contemplar soluções maioritariamente passivas, de modo a diminuir o nível dos consumos [23].

As acções desenvolvidas ao nível das fases de projecto e construção devem incluir soluções construtivas ecológicas que melhorem o conforto ambiental no interior dos edifícios (iluminação, ventilação, temperatura, ruído).

No que diz respeito à fase de utilização é necessário contrariar a tendência para a deficiente utilização dos equipamentos e espaços. Desse modo, é importante investir em acções que promovam a formação dos utilizadores a esse respeito, e que incidam preferencialmente na melhoria do nível de conforto.

Ao nível da manutenção, deve-se privilegiar acções de fácil aplicação e execução que promovam a gestão e conservação do edifício, de modo a prolongar o seu tempo médio de vida.

O Quadro 2.3 apresenta, detalhadamente, algumas das acções a adoptar ao longo do processo operativo da construção sustentável, nas diferentes fases do ciclo de vida do edifício.

Quadro 2.3 - Critérios de implementação do processo operativo da construção sustentável [23]

FASES DE INTERVENÇÃO	ACÇÕES A ADOPTAR
Projecto	<ul style="list-style-type: none"> - Localização e orientação solar do edifício; - Orientação e forma do edifício, de acordo com a exposição solar, ventos e ruído; - Determinação rigorosa do nível de eficiência térmica do edifício – uso de sistemas e equipamentos adequados; - Orientação e tamanho das áreas envidraçadas, optimizando a entrada de radiação solar; - Estratégias de sombreamento e protecção – passivos e activos; - Ventilação natural para arrefecimento e renovação de ar; - Aplicação de um sistema de construção que permita uma redução passiva do consumo de energia; - Protecção e orientação do vento e da pluviosidade usando espécies vegetais; - Utilização de sistemas e equipamentos que minimizem os gastos energéticos; - Espaços adequados e organização funcional de acordo com o número de utilizadores; - Desenho de espaços mais ergonómicos e que promovam a mobilidade; - Sistemas de reutilização de água e recolha de águas pluviais.

FASES DE INTERVENÇÃO	ACÇÕES A ADOPTAR
Construção	<ul style="list-style-type: none"> - Elaboração de um plano que promova a profissionalização dos agentes da construção; - Optimização do processo tecnológico de construção do edifício e rigoroso controlo da execução; - Estratégias autónomas de admissão de ar – ventilação natural; - Execução de sistemas de emergência nos sistemas de impermeabilização; - Sistemas de recolha de águas pluviais; - Selecção de materiais e equipamentos minimizando a produção de resíduos e a poluição; - Selecção dos materiais de revestimento exteriores de acordo com as suas características acústicas e térmicas; - Dispositivos de controlo e redução do fluxo de água.
Utilização	<ul style="list-style-type: none"> - Elaboração do manual de utilização do edifício; - Utilização dos espaços de acordo com o previsto no projecto; - Regulação do fluxo de ventilação natural de acordo com as estações do ano e os períodos do dia; - Regulação dos sistemas de protecção solar de acordo com os períodos de maior radiação.
Manutenção	<ul style="list-style-type: none"> - Elaboração de um manual de acções de manutenção do edifício; - Manutenção regular da protecção solar, impermeabilização e sistemas de ventilação natural.

O sucesso da implementação deste processo depende de uma monitorização regular e eficaz, que permita o controlo da aplicação das medidas em cada fase do processo. A integração de uma monitorização eficaz possibilita a identificação e correcção de eventuais erros e resultados indesejáveis decorrentes da implementação do processo [23].

Em resumo, a implementação do processo da construção sustentável tem como linhas principais a incorporação dos ideais do desenvolvimento sustentável e intervenção em todas as fases do ciclo de vida de um edifício, bem como a monitorização permanente que permita validar todo o processo construtivo.

2.4 Sistemas de avaliação e certificação da construção sustentável

Com o objectivo de garantir a sustentabilidade dos edifícios durante a totalidade do seu ciclo de vida, tornando possível uma melhor integração entre os parâmetros ambientais, sociais, funcionais e económicos, têm sido criados sistemas e ferramentas que permitem a avaliação e reconhecimento da construção sustentável.

A função da avaliação da sustentabilidade é reunir dados e reportar informações que servirão de base aos processos de decisão que decorrem durante as diversas fases do ciclo de vida de um edifício. O nível de sustentabilidade de um edifício resulta de um processo no qual os factores mais importantes são identificados, analisados e avaliados [26].

A maioria dos sistemas de avaliação dos edifícios baseia-se em indicadores de desempenho que atribuem uma pontuação técnica em função de vários requisitos relativos aos aspectos construtivos, climatéricos e ambientais, tendo especial atenção ao interior dos edifícios, à sua envolvente e à sua relação com a cidade e o meio ambiente global.

A criação de sistemas de avaliação específicos para edifícios tornou possível a certificação da aplicação dos conceitos da construção sustentável ao sector da construção. Estes sistemas estão em constante evolução, ampliando o seu campo de aplicação. Um dos principais objectivos neste momento é “desenvolver e implementar uma metodologia consensual que sirva de suporte à concepção de edifícios sustentáveis e que seja, ao mesmo tempo, prática, transparente e suficientemente flexível, para que possa ser facilmente adaptada aos diferentes tipos de edifícios e à constante evolução tecnológica que se verifica no domínio da construção” [27].

A avaliação da construção sustentável tem por base uma série de indicadores e parâmetros que se enquadram nas diferentes dimensões do desenvolvimento sustentável. Um indicador permite avaliar o comportamento de uma solução face a um ou mais objectivos do desenvolvimento sustentável e um parâmetro é uma propriedade mensurável ou observável que fornece informação acerca de um fenómeno, ambiente ou área [26]. Um exemplo de um indicador é o conforto ambiental interno, que é um dos objectivos genéricos da construção sustentável; um parâmetro associado a este indicador é o conforto térmico que é um aspecto mensurável (medição da temperatura interior).

A estes indicadores e parâmetros estão associados diferentes factores de ponderação, que dependem do contexto político, tecnológico, cultural, social e económico de cada país ou de cada região.

Diversos países desenvolveram o seu próprio sistema de avaliação da sustentabilidade, de modo a poderem contemplar a legislação local, regulamentos e soluções construtivas com base nos materiais e técnicas locais.

Alguns sistemas de avaliação existentes, actualmente, são:

- *Building Research Establishment Environmental Assessment Method* (BREEAM), desenvolvido no Reino Unido;

- *Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency* (CASBEE), desenvolvido no Japão;
- *Green Building Challenge* (GBC), desenvolvido inicialmente no Canadá (com implementação através do SBTool);
- *Haute Qualité Environnementale des Bâtiments* (HQE), desenvolvido em França;
- *Leadership in Energy & Environmental Design* (LEED), desenvolvido nos Estados Unidos da América;
- *National Australian Built Environment Rating System* (NABERS), desenvolvido na Austrália;
- Liderar pelo ambiente na procura da sustentabilidade na construção (LiderA), desenvolvido em Portugal.

Contudo, os sistemas de avaliação e certificação mais relevantes e com maior aplicabilidade a nível mundial são o BREEAM, o LEED e o GBC. É também importante referir o LiderA por se tratar de um sistema de avaliação desenvolvido em Portugal.

2.4.1 BREEAM – *Building Research Establishment Environmental Assessment Method*

O BREEAM surge no início da década de 1990, no Reino Unido, como o primeiro método de avaliação de desempenho ambiental de edifícios. Este método foi desenvolvido por investigadores do *Building Research Establishment* (BRE) e do sector privado, com o objectivo da especificação e avaliação do desempenho de um edifício.

Este método promove, não só a orientação para minimizar os efeitos negativos dos edifícios nos locais onde se inserem, como visa fomentar o conforto ambiental interno. Alguns dos objectivos deste método são [28]:

- Promover o reconhecimento, a nível do mercado, de edifícios com baixo impacte ambiental;
- Incentivar a utilização de melhores práticas ambientais em todas as fases do ciclo de vida do edifício;
- Aplicar parâmetros e padrões que não são impostos na legislação, desafiando o mercado a adoptar soluções inovadoras que minimizem o impacte ambiental dos edifícios;
- Realçar a importância e os benefícios de edifícios com menor impacte ambiental aos proprietários, ocupantes, projectistas e operadores.

Este sistema é actualizado a cada 3 a 5 anos de modo a corresponder aos avanços tecnológicos e às alterações da regulamentação e do mercado.

A popularidade do BREEAM deve-se particularmente ao seu desempenho de referência

(*benchmark*), à cobertura de aspectos abrangentes como a energia, impacte ambiental, saúde e produtividade, e à identificação de oportunidades realistas e aplicáveis para a melhoria do desempenho ambiental, assim como de potenciais vantagens financeiras [27].

A avaliação do BREEAM decorre de forma distinta em função do tipo de edifício estudado. Existem versões BREEAM para tribunais, escolas, edifícios industriais, hospitais e clínicas, escritórios, edifícios dedicados ao comércio, prisões e edifícios habitacionais [28].

O sistema também faz distinção entre construções novas e edifícios em uso. Para edifícios novos, ou submetidos a alterações, são analisados os parâmetros de desempenho ambiental em conjunto com questões relacionadas com as fases de projecto e execução. No caso do estudo de edifícios em uso são considerados os critérios básicos de desempenho, bem como os itens referentes à operação e gestão do edifício [27].

A metodologia adoptada pelo BREEAM contempla um conjunto de dez indicadores de sustentabilidade, dentro dos quais analisa uma série de parâmetros, com diferentes ponderações. No Quadro 2.4 estão representados os indicadores do sistema BREEAM e respectivos parâmetros.

Quadro 2.4 - Conjunto de indicadores e parâmetros avaliados pelo sistema BREEAM [28]

<p>Gestão</p> <ul style="list-style-type: none"> - Adjudicação; - Impacte no local da construção; - Segurança. 	<p>Resíduos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Resíduos da construção; - Agregados reciclados; - Instalações de reciclagem.
<p>Saúde e Bem-Estar</p> <ul style="list-style-type: none"> - Iluminação natural (luz do dia); - Conforto térmico dos ocupantes; - Acústica; - Qualidade do ar interior e da água. 	<p>Poluição</p> <ul style="list-style-type: none"> - Emissões de gases de efeito de estufa; - Poluição dos cursos de água; - Luz externa e poluição sonora.
<p>Energia</p> <ul style="list-style-type: none"> - Emissões de CO₂; - Isolamento do edifício; - Sistemas de elevada eficiência energética; - Iluminação externa. 	<p>Uso do solo e ecologia</p> <ul style="list-style-type: none"> - Valor ecológico do local; - Protecção das características ecológicas; - Valorização ecológica; - Pegada do edifício.
<p>Transporte</p> <ul style="list-style-type: none"> - Conexão da rede de transportes públicos; - Instalações direccionadas para peões e ciclistas; - Infra-estruturas de lazer; - Planos e informações sobre viagens. 	<p>Materiais</p> <ul style="list-style-type: none"> - Incorporação do ciclo de vida dos materiais; - Reutilização de materiais; - Robustez.

Água	Inovação
<ul style="list-style-type: none"> - Consumo de água; - Detecção de fugas; - Reutilização e reciclagem de água. 	<ul style="list-style-type: none"> - Níveis exemplares de desempenho; - Utilização de profissionais acreditados; - Novas tecnologias de processos construtivos.

A aplicação do BREEAM é feita com base numa lista de verificação (*checklist*) que detalha os requisitos específicos de cada parâmetro. A análise de dados de avaliação deste sistema contém itens com carácter obrigatório e outros classificatórios. O cumprimento dos itens obrigatórios e de um número mínimo de itens classificatórios irá corresponder à classificação do edifício num dos níveis de desempenho possíveis e que variam entre Sem Classificação, Aprovado, Bom, Muito Bom, Excelente e Excelente (Nível Adicional). A pontuação mínima e os níveis de desempenho variam consoante a versão do método [28].

2.4.2 GBC – Green Building Challenge

O GBC tem como objectivo o desenvolvimento de um método para a avaliação do desempenho ambiental de edifícios, com vista à sua adequação às diferentes tecnologias, tradições construtivas e valores culturais de diferentes regiões do mesmo país ou de países diferentes.

Este sistema começou a ser desenvolvido em 1996, contou com a colaboração de mais de 75 equipas de vários países e tem vindo a sofrer alterações ao longo das várias conferências realizadas especificamente para o efeito: GBC'98 (Canadá), SB2000 (Holanda), SB02 (Noruega), SB05 (Japão) e SB08 (Austrália).

Os objectivos gerais do GBC são [29]:

- Melhorar constantemente o estado da arte das metodologias de avaliação da performance ambiental dos edifícios;
- Manter um controlo sobre as questões de sustentabilidade, determinando a sua relevância para a construção sustentável;
- Patrocinar conferências que promovam a troca de conhecimentos entre a comunidade de investigadores da construção sustentável e os intervenientes no sector da construção.

A ferramenta utilizada para avaliar a performance ambiental e energética de um edifício, com base nos pressupostos do GBC, é o SBTool [30].

O sistema tem como base uma estrutura de avaliação dividida em sete indicadores e vinte e nove parâmetros, que se subdividem em cento e vinte e cinco critérios e aos quais são atribuídos diferentes factores de ponderação. No Quadro 2.5 estão representadas os indicadores avaliados pela ferramenta SBTool e respectivos parâmetros.

Quadro 2.5 - Conjunto de indicadores e parâmetros avaliados pela ferramenta SBTool [30]

<p>A – Escolha do Local, Planeamento e Desenvolvimento do Projecto</p> <p>A1 Escolha do local</p> <p>A2 Planeamento do projecto</p> <p>A3 Planeamento urbano e desenvolvimento local</p> <p>B – Consumo de Recursos e Energia</p> <p>B1 Ciclo de vida das energias não renováveis</p> <p>B2 Pico energético exigido para operação das instalações</p> <p>B3 Energias renováveis</p> <p>B4 Materiais</p> <p>B5 Água potável</p> <p>C- Cargas ambientais</p> <p>C1 Emissões gases de efeito de estufa</p> <p>C2 Outras emissões atmosféricas</p> <p>C3 Resíduos sólidos</p> <p>C4 Águas pluviais</p> <p>C5 Impactes no local</p> <p>C6 Outros impactes locais e regionais</p>	<p>D – Qualidade do ambiente interior</p> <p>D1 Qualidade do ar interior</p> <p>D2 Ventilação</p> <p>D3 Temperatura do ar e humidade relativa</p> <p>D4 Iluminação natural e artificial</p> <p>D5 Ruído e acústica</p> <p>E – Qualidade de serviço</p> <p>E1 Segurança durante as operações</p> <p>E2 Funcionalidade e eficiência</p> <p>E3 Controlabilidade</p> <p>E4 Flexibilidade e adaptabilidade</p> <p>E5 Conjugação das instalações</p> <p>E6 Manutenção de performance das operações</p> <p>F – Aspectos económicos e sociais</p> <p>F1 Aspectos sociais</p> <p>F2 Custos e economia</p> <p>G – Aspectos culturais e perceptuais</p> <p>G1 Cultura e património</p> <p>G2 Percepção</p>
--	---

A avaliação dos critérios de desempenho é feita quantitativamente, através de uma escala gerada pelo sistema. Essa escala está dividida num intervalo numérico com os seguintes níveis: -2 (Desempenho Medíocre), -1 (Desempenho Insatisfatório), 0 (Desempenho Mínimo Aceitável), 1 a 4 (Níveis de Desempenho Intermédios) e 5 (Desempenho Excelente).

Os resultados são apresentados sob a forma da média ponderada correspondente a cada indicador em conjunto com a média global do edifício. Para melhor ilustração dos resultados relativos aos indicadores, é também apresentado um gráfico como o da Figura 2.5.

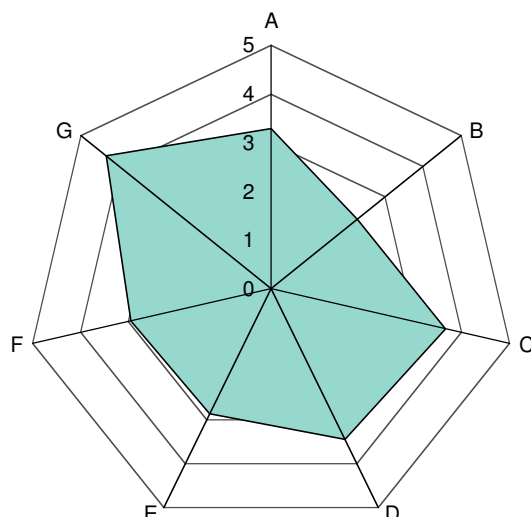


Figura 2.5 - Exemplo do gráfico do SBTool para apresentação dos resultados relativos aos indicadores [30]

2.4.3 LEED – *Leadership in Energy & Environmental Design*

Com a formação, em 1993, nos Estados Unidos, do *United States Green Building Council* (USGBC) houve uma consciencialização para a necessidade de criar um sistema de permitisse definir e avaliar a construção sustentável. Nesse contexto, começou a ser desenvolvido um sistema que foi lançado em 1998, sob o nome LEED [31].

Outro dos incentivos para a sua criação foi o exemplo de sistemas desenvolvidos noutros países e que foram bem sucedidos, como é o caso do BREEAM (Reino Unido). Este sistema demonstra um desenvolvimento na consciencialização e no critério de selecção dos consumidores, estimulando os proprietários e construtores a construir edifícios ambientalmente avançados. Estes incentivos foram a base para a criação do LEED, com intuito da classificação e certificação ambiental de edifícios para os profissionais e para a indústria de construção. Assim, o LEED pretende incentivar a criação de edifícios ambientalmente responsáveis e eficientes, bem como lugares saudáveis para viver e trabalhar.

O sistema LEED divide-se em dois tipos de avaliação consoante o tipo de ocupação a que o edifício se destina (*LEED Commercial Interiors/Renovations* e *LEED Residential*).

A avaliação baseia-se numa lista de verificação que apresenta sete indicadores: Localização Sustentável, Utilização Eficiente da Água, Energia e Atmosfera, Recursos e Materiais, Qualidade Ambiental Interior, Inovação no Projecto e Prioridade Regional.

A cada indicador estão atribuídos vários parâmetros com diferentes possibilidades de pontuação. A contabilização dos pontos é efectuada através de uma soma simples dos critérios, em que o total dos pontos atingidos leva à atribuição de um tipo de certificação: Certificado (40 a 49 pontos), Prata (50 a 59 pontos), Ouro (60 a 79 pontos) e Platina (80 ou mais pontos) [31].

2.4.4 LiderA – Sistema Voluntário para Avaliação da Construção Sustentável

O LiderA é um sistema de avaliação e reconhecimento voluntário de construção sustentável e ambiente construído, desenvolvido em Portugal.

No ano 2000, o Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura do Instituto Superior Técnico, com o apoio da Inovação e Projectos em Ambiente, Lda. (IPA) começou a desenvolver vários trabalhos de apoio técnico à construção sustentável, dos quais se destaca o projecto LiderA, acrónimo de Liderar pelo ambiente na procura da sustentabilidade na construção. Actualmente, o sistema LiderA é uma marca registada portuguesa e tem como objectivos apoiar o desenvolvimento de planos e projectos que procurem a sustentabilidade; avaliar o nível de sustentabilidade nas várias fases do ciclo de vida do edifício; suportar a gestão na fase de construção e operação e certificar através de uma avaliação independente [32].

A primeira versão do LiderA foi disponibilizada em 2005, destinada ao edificado e ao respectivo espaço envolvente. Mais tarde foi desenvolvida uma nova versão que permite o alargamento da aplicação do sistema, ou seja, o sistema pode ser aplicado não apenas ao edificado, mas também ao ambiente construído, espaços exteriores e aos seus utentes numa óptica de comunidades sustentáveis.

O sistema LiderA é organizado com base em seis princípios para a procura da sustentabilidade [32]:

- Valorizar a dinâmica local e promover uma adequada integração;
- Fomentar a eficiência no uso dos recursos;
- Reduzir o impacte das cargas (quer em valor, quer em toxicidade);
- Assegurar a qualidade do ambiente, focada no conforto ambiental;
- Fomentar as vivências socioeconómicas sustentáveis;
- Assegurar a melhor utilização sustentável dos ambientes construídos, através da gestão ambiental e da inovação.

A concretização destes princípios é feita através da avaliação de seis indicadores, pelos quais se distribuem 22 parâmetros, tal como demonstrado na Figura 2.6.

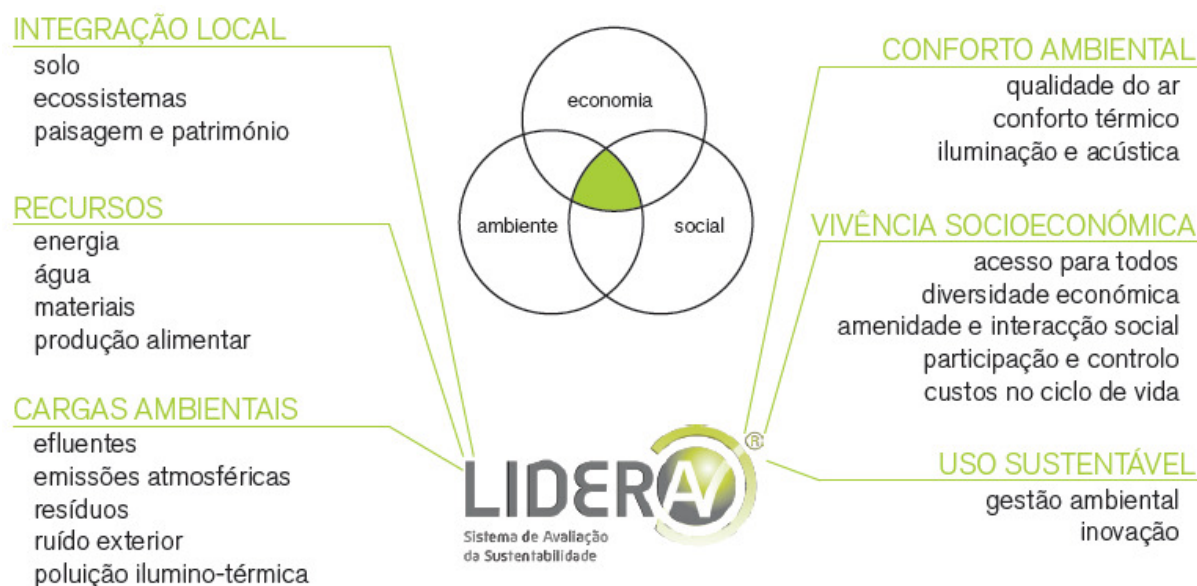


Figura 2.6 - Esquema dos indicadores e parâmetros do sistema LiderA [32]

No sistema de avaliação, existe um conjunto de critérios que operacionalizam os aspectos a considerar dentro de cada parâmetro. Estes critérios pretendem ajudar a seleccionar a solução que melhore o desempenho existente, quer do ponto de vista ambiental quer económico.

Os critérios têm igual importância dentro de cada parâmetro sendo que a classificação final conjugada é obtida através da ponderação dos 22 parâmetros. No conjunto, a contabilização por indicadores atribui maior relevância aos recursos (32%), seguido da vivência socioeconómica (19%), conforto ambiental (15%), integração local (14%), cargas ambientais (12%) e por fim a gestão ambiental (8%) [32].

Para o sistema LiderA, o grau de sustentabilidade é mensurável em classes de bom desempenho crescentes (desde a classe G até A++), tendo como classe de referência de utilização mais usual a classe E (Figura 2.7).



Figura 2.7 - Níveis de desempenho atribuídos pelo sistema LiderA [32]

2.5 Importância da energia na avaliação da construção sustentável

De um ponto de vista genérico, os diversos sistemas de avaliação referidos anteriormente centram-se na análise dos seguintes indicadores: Local e integração, Cargas ambientais e impacte da envolvente, Recursos, Ambiente interior, Planeamento, aplicabilidade e adaptabilidade, Gestão ambiental e inovação e Aspectos políticos e socioeconómicos.

O número e tipo de parâmetros correspondentes a cada um destes indicadores variam de sistema para sistema. Segundo um estudo realizado por Lucas (2011), os únicos parâmetros em comum nos quatro sistemas referidos são [33]:

- Conforto térmico;
- Emissões atmosféricas;
- Resíduos da construção;
- Água;
- Energia;
- Materiais.

Além disso, analisando-se o factor de ponderação correspondente a cada um destes parâmetros, constata-se que a Energia assume um dos valores de ponderação mais elevados. Tendo como exemplo o sistema LiderA, a ponderação atribuída aos parâmetros comuns são: 5% para o Conforto térmico, 2% para as Emissões atmosféricas, 3% para os Resíduos da construção, 8% para a Água; 17% para a Energia e 5% para os Materiais [32].

Isto demonstra a relevância do uso eficiente da energia como forma de atingir uma construção sustentável. À partida, o cumprimento pleno dos parâmetros energéticos permite alcançar um nível de certificação mais favorável.

Por estes motivos, torna-se importante estudar o desempenho energético dos edifícios e estabelecer estratégias de melhoria da eficiência energética, com vista à concretização dos objectivos da construção sustentável.

3. DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS

3.1 O quadro da construção de edifícios em Portugal

Segundo o estudo estatístico da construção e habitação com publicação mais recente, o parque habitacional português está estimado em 3,5 milhões de edifícios e 5,7 milhões de alojamentos. Em termos regionais, a região Norte é dominante em número de edifícios, totalizando 35,0%, deixando 31,2% para a região centro. Na região de Lisboa encontram-se 12,5% do total do parque habitacional nacional [15].

Efectuando uma comparação entre a distribuição do edificado com a distribuição da estimativa da população (Figura 3.1) é possível verificar a proximidade de ambas, sendo no litoral que se concentra grande parte do parque habitacional e onde reside a maioria da população.

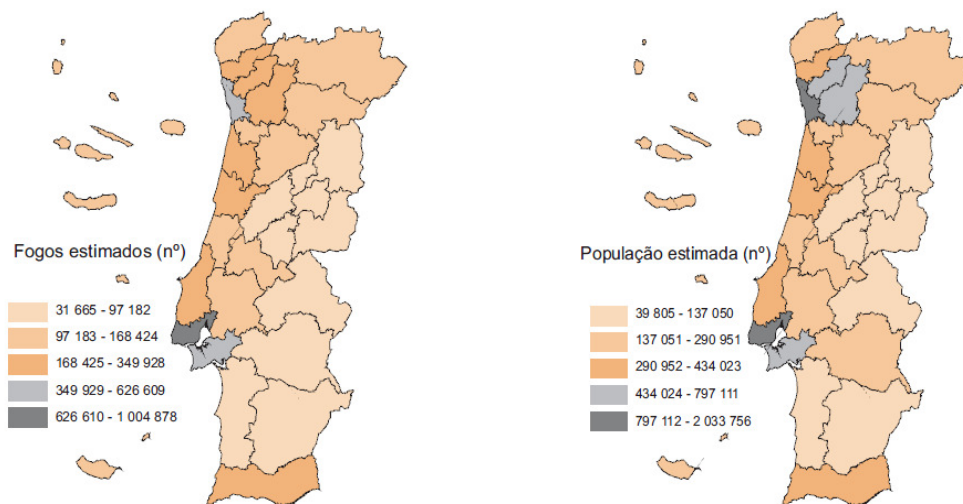


Figura 3.1 - Estimativa do número de Fogos e de População, por região, em 2009 [15]

Na Figura 3.2 é apresentada a distribuição percentual dos edifícios por época de construção. Os valores para a época de 2002 a 2009 foram obtidos por estimativa, com base no número de edifícios concluídos e demolidos no decorrer desse espaço de tempo, e só poderão ser corrigidos com os resultados definitivos dos Censos 2011 [15, 34].

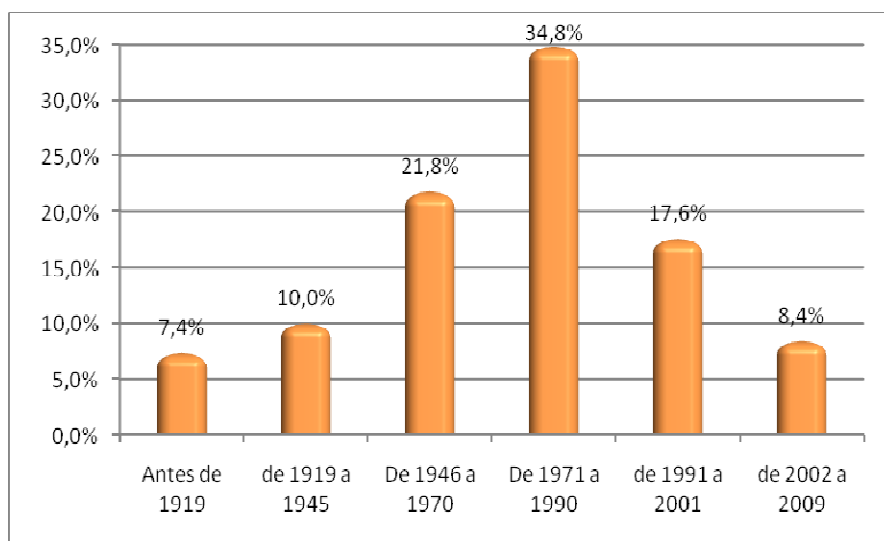


Figura 3.2 - Distribuição percentual dos edifícios por época de construção, em Portugal

Relativamente à idade do parque habitacional, que constitui um dos principais indicadores quanto ao seu estado de degradação, pode referir-se, com base nos dados apresentados, que 39,2% dos edifícios têm mais de 40 anos de idade, sendo que cerca de um quarto dos edifícios foram construídos depois de 1991. Ainda que exista uma grande percentagem de edifícios de construção antiga, a maior parte do parque habitacional português é de construção relativamente recente.

No que diz respeito ao estado de conservação do parque habitacional, os dados dos Censos 2001 referem que cerca de 32% dos fogos necessita de pequenas e médias reparações, enquanto cerca de 10% necessita de grandes ou muito grandes reparações. Salienta-se ainda que, aquando da execução dos Censos 2001 (Março de 2001), 9,4% dos fogos construídos entre 1996 e 2001 já necessitavam de algum tipo de reparação. Estes valores reportam bem a falta de qualidade da construção durante essa época [34].

O facto de haver um elevado número de habitações a necessitar de intervenção abre grandes possibilidades à reabilitação de edifícios para que se possa melhorar as condições de segurança e conforto nas habitações. Mas, contrariamente ao espectável, não se tem verificado um aumento percentual da reabilitação de edifícios face à opção por construções novas.

De acordo com a Figura 3.3, ainda que se tenha verificado uma quebra na execução de construções novas desde 1999, não se verifica uma aposta crescente na reabilitação de edifícios, que atingiu a sua expressão máxima em 1996 (24,2% do número total de obras) e a mínima em 2002 (15,8%). Desde aí tem-se verificado uma quebra sustentada, ainda que não acentuada, das obras de reabilitação [15].

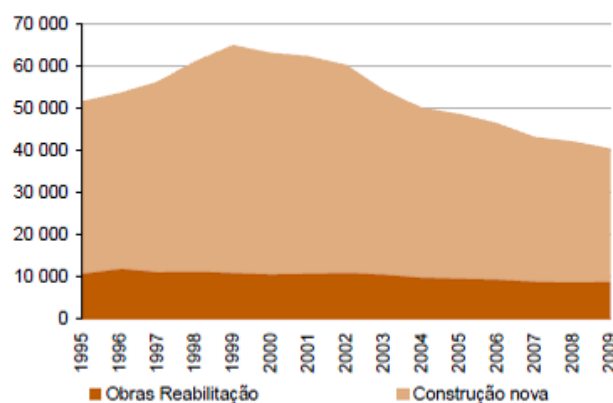


Figura 3.3 - Reabilitações do edificado e construções novas, Portugal, 1995-2009 [15]

Apesar da importância da reabilitação no quadro actual da construção e do reconhecimento de que existe uma saturação do mercado de novas habitações, é a construção nova de edifícios que tem maior expressão actualmente. Das 40935 obras concluídas durante o ano de 2009, 77,9% correspondem a construção nova [15].

3.2 O consumo energético dos edifícios e a sua variação ao longo do tempo

Segundo o Eurostat, a dependência energética de Portugal, em 2008, foi de 83%. Este indicador energético não tem sofrido grandes flutuações ao longo da última década, uma vez que o seu valor para o ano de 1998, segundo o mesmo organismo, foi de 83,4% [3]. A produção interna de energia baseou-se, exclusivamente, nas fontes de energia renováveis, em especial hídrica e eólica, produção essa que cresceu cerca de 45% desde 1990 [35].

Como se pode verificar na Figura 3.4, Portugal é o sexto país da União Europeia com maior dependência energética externa e está 28,2% acima da média da UE-27 (os 27 países da União Europeia) [3].

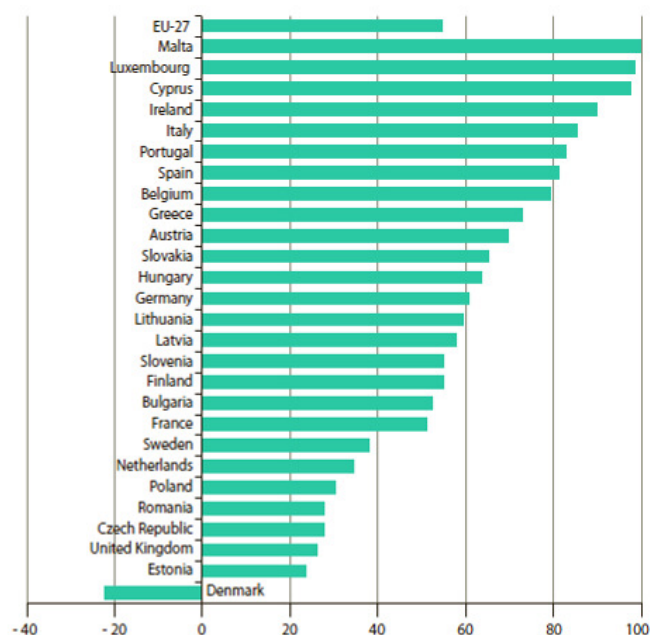


Figura 3.4 - Dependência energética dos países da União Europeia (%) [3]

De acordo com a Direcção Geral de Energia e Geologia (DGEG), o consumo de energia nacional cresceu a um ritmo de 3,2% ao ano, desde o início da década de 90 até 2008. Este crescimento foi fundamentalmente sustentado pelo crescimento do consumo energético nos sectores de serviços e transportes, que cresceram consistentemente acima dos 5% ao ano. Como se pode verificar na Figura 3.5, o consumo energético no sector doméstico também cresceu, embora a um ritmo inferior ao crescimento do consumo total, situando-se nos 2% ao ano.

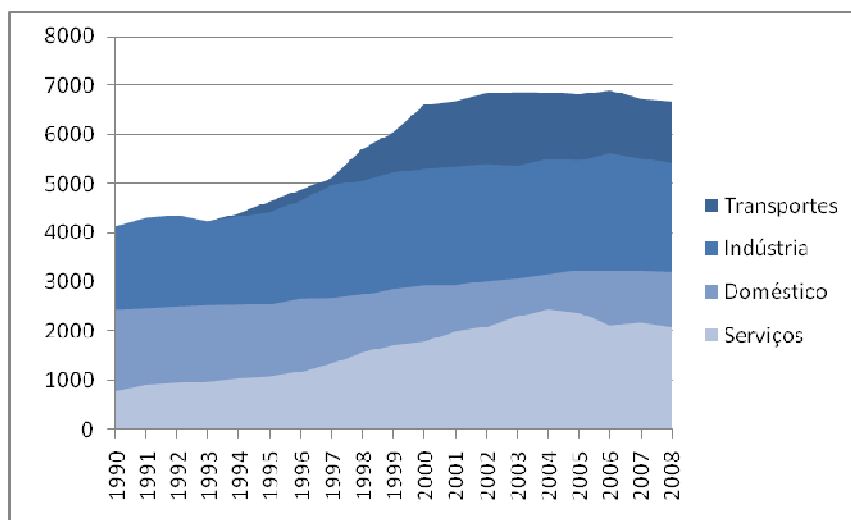


Figura 3.5 -Consumo energético, em ktep, por sector, no período de 1990 a 2008

Na Figura 3.6 apresenta-se a repartição dos consumos pelos vários sectores de actividade económica no ano de 2008 [36]. O consumo de energia no sector dos edifícios representa cerca de 29,5% do consumo total do país, sendo 17,69% associado ao consumo doméstico e 11,64% associado aos edifícios de serviços. Ainda que o consumo doméstico represente 17,69% do consumo total de energia primária, este valor sobe para 29% quando nos referimos estritamente ao consumo de electricidade [35].

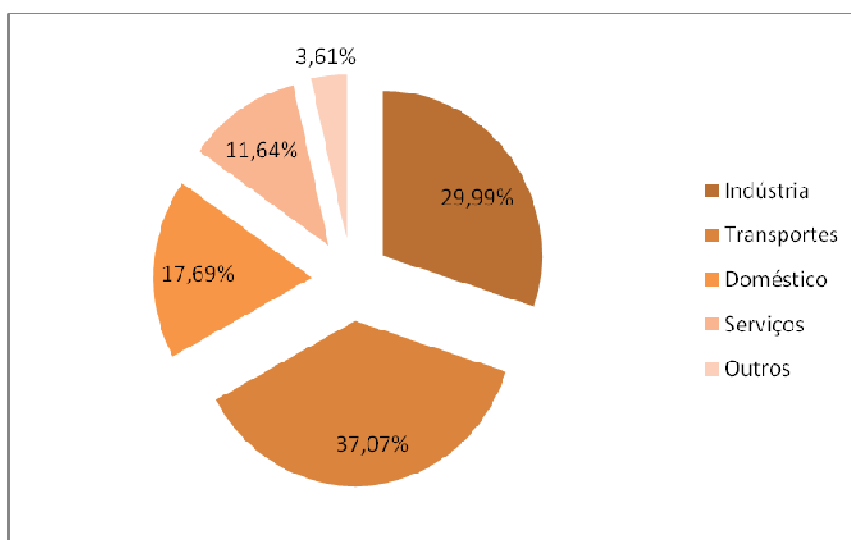


Figura 3.6 - Repartição dos consumos pelos vários sectores de actividade económica, em Portugal, no ano de 2008

Em 2004, o consumo de energia eléctrica nos edificios residenciais distribuía-se, aproximadamente, de acordo com o apresentado na Figura 3.7. É possível verificar que o aquecimento ambiente, os electrodomésticos e a iluminação constituem os usos de energia final com maior peso no consumo do sector. O arrefecimento ambiente tinha, em 2004, uma baixa representação.

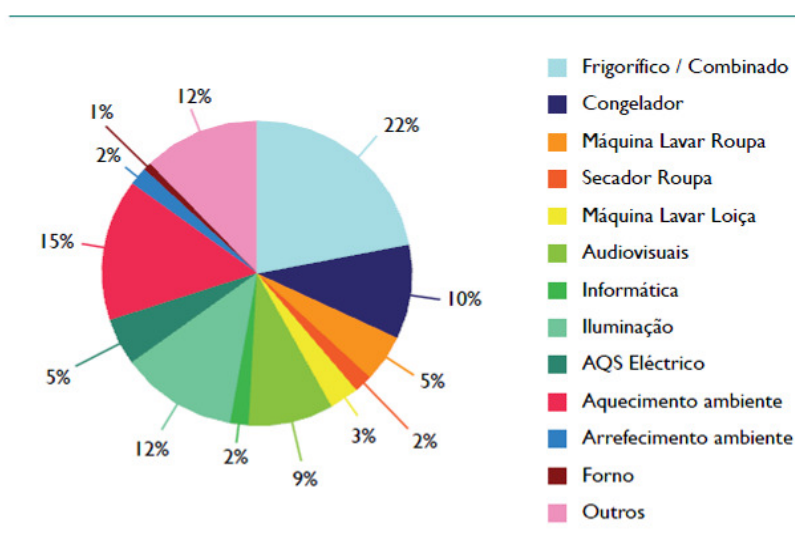


Figura 3.7 - Repartição dos consumos de electricidade pelos diferentes usos finais, em Portugal, no ano de 2004 [37]

Com o aumento aparente do nível de vida e consequente aumento da exigência de conforto térmico, em conjunto com o desenvolvimento tecnológico, prevê-se que o consumo derivado da climatização aumente de forma gradual.

Nos últimos anos, tem-se vindo a observar a propagação e generalização do uso de aparelhos de ar condicionado, em especial nos países mais desenvolvidos. Com a ocorrência de temperaturas cada vez mais elevadas durante o Verão e temperaturas cada vez mais reduzidas durante o Inverno, em especial nos países mediterrânicos, é de esperar uma maior utilização deste tipo de aparelhos.

A crescente utilização de aparelhos convencionais de ar condicionado ultrapassa o condicionamento do consumo energético, gerando também preocupações de carácter ambiental.

3.3 Os impactes resultantes do aumento do consumo energético dos edifícios

Os edifícios, ao longo do seu ciclo de vida, são responsáveis por vários impactes no meio ambiental, dos quais se destacam o consumo de recursos (energia, materiais, água), a produção de emissões atmosféricas e criação de resíduos, tal como demonstrado na Figura 3.8.

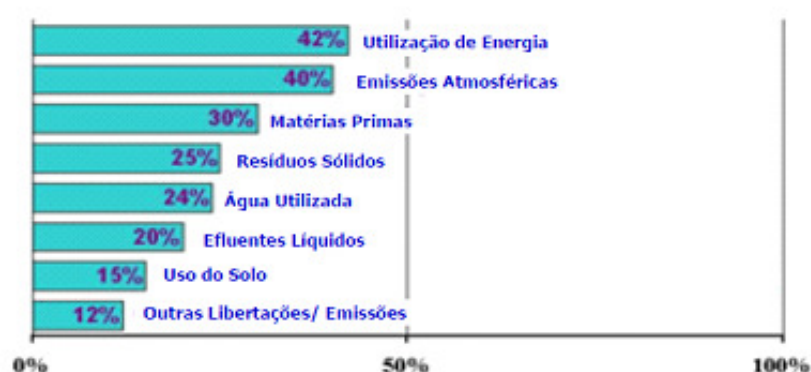


Figura 3.8 - Impactes ambientais dos edifícios, nos EUA [38]

A fase de construção é a que induz impactes mais relevantes e alterações mais significativas, em curtos períodos de tempo, nos sistemas ambientais.

Na fase de construção, os maiores impactes estão associados a: alterações no meio envolvente, nomeadamente através da afectação da fauna e flora locais e alterações no uso do solo; consumo de matérias-primas; produção, armazenamento e deposição de resíduos; produção de ruídos e poeiras [6].

No entanto, os impactes ambientais mais significativos ocorrem durante a fase de utilização do edifício, que corresponde à fase mais duradoura do seu ciclo de vida. Os impactes decorrentes desta fase estão, maioritariamente, associados ao consumo de recursos, nomeadamente energia.

Em termos de utilização de energia, e segundo a Figura 3.9, a fase de construção é apenas responsável por 12% do total do consumo energético de um edifício durante o seu ciclo de vida. A utilização que se dá ao edificado, nomeadamente dos equipamentos de aquecimento, ventilação,

aquecimento de águas e equipamentos eléctricos no geral, é responsável pela maioria do consumo energético do edifício, ao longo do seu ciclo de vida [21].

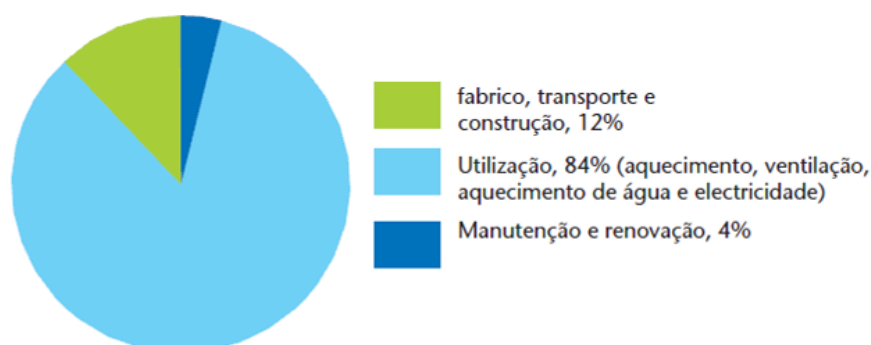


Figura 3.9 - Utilização de energia, em percentagem, durante o Ciclo de Vida de um edifício [21]

Segundo a DGEG, as fontes de energia consumidas pelo sector dos edifícios são Produtos Petrolíferos, Electricidade, Gás Natural e Outros, no qual se incluem as fontes de energia renováveis. A distribuição percentual desse tipo de consumos no ano de 2008 está representada na Figura 3.10, verificando-se que a maior fonte de consumo para os edifícios é a electricidade (67,94% para os edifícios de serviços e 36,28% para os edifícios domésticos). É possível também verificar que as fontes renováveis de energia, incluídas na categoria “outros”, têm um peso relevante no consumo energético dos edifícios domésticos, ainda que abaixo de um valor desejável [36].

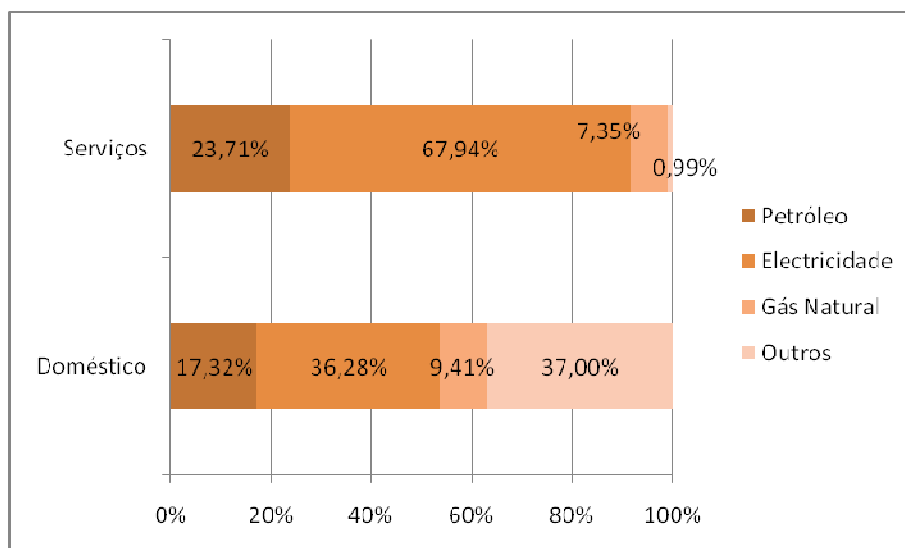


Figura 3.10 - Distribuição percentual dos consumos por fonte de energia, em Portugal no ano de 2008

Grande parte da energia consumida pelos edifícios provém de fontes não renováveis, como sejam, o petróleo, o carvão ou o gás natural. Todas estas fontes de energia têm como base reservas ou de origem fóssil ou de origem mineral. À medida que as reservas são menores, torna-se mais difícil a sua extracção e o seu custo aumenta, até a um nível que poderá deixar de ser economicamente rentável

extrair a matéria-prima [35].

O aumento do preço do petróleo tende a empobrecer os países mais dependentes dessa matéria-prima, como é o caso de Portugal, fragilizando a sua posição económica internacionalmente, no longo prazo e numa perspectiva algo pessimista, originando conflitos sociais e políticos que podem alastrar por extensas regiões do globo [39].

A necessidade de aumentar os índices de eficiência energética, para além de associada aos problemas de abastecimento de energia, sobretudo do petróleo, tem outra razão de ser, igualmente importante. Prende-se com a urgência de reduzir a emissão de GEE, questão que nutre especial atenção a nível internacional, com o Protocolo de Quioto e mais recentemente com o Objectivo 20.20.20.

O consumo energético a partir de fontes de energia fósseis necessita sempre de um processo de combustão que tem como produto a formação de dióxido de carbono (CO₂), o principal gás de efeito de estufa.

O protocolo de Quioto consiste num tratado internacional de compromisso que visa diminuir a emissão de GEE nos países desenvolvidos. Os países comprometeram-se em reduzir essas emissões em pelo menos 5% para o período de 2008 a 2012, em relação ao valor de 1990. Portugal tem falhado no cumprimento desse objectivo, dado que segundo o Eurostat, em 2008, o país teria aumentado em cerca de 30% o valor das emissões de GEE em relação ao ano base (1990) [3].

As emissões produzidas pelos combustíveis fósseis usados para satisfazer as crescentes necessidades energéticas a nível global estão a provocar alterações climáticas perigosas no planeta. Os cientistas têm vindo a alertar para o facto das temperaturas globais poderem aumentar de um mínimo de 1,4°C (se as emissões de CO₂ estabilizarem) a um máximo de 5,8 °C, caso não se tomem medidas imediatas no sentido de controlar as emissões poluidoras [40].

Além de gerar emissões para a atmosfera, a fase de exploração e transformação da energia é também responsável pela produção de resíduos e contaminação da água e solos.

É então importante racionalizar o consumo de energia, implementando estratégias que permitam melhorar o desempenho energético dos edifícios. Neste sentido, a UE criou um conjunto de directivas, transpostas para a legislação portuguesa, com vista à concretização deste objectivo.

3.4 Enquadramento político-legal

Como resposta às preocupações ambientais crescentes e na tentativa de encontrar soluções que promovessem o desenvolvimento sustentável, foi negociado, em Dezembro de 1997, por mais de 160 países, o Protocolo de Quioto. Com este protocolo os países subscritores comprometeram-se a reduzir a emissão de GEE, com principal incidência no CO₂. Cada país participante teria a liberdade de decidir o modo como faria essa redução, desde que atingisse as metas definidas para o período de 5 anos, a

começar em 2008 e até 2012 [41].

Globalmente, pretende-se atingir uma diminuição de pelo menos 5% dos GEE até 2012 (relativamente às emissões do ano de 1990). As grandes metas para a UE prendem-se com a redução das emissões de GEE em 8%, sendo que, para isso, Portugal necessita de limitar o aumento das suas emissões em 27% [42].

O protocolo propõe estratégias de actuação para o cumprimento do objectivo proposto, entre elas: aumentar o nível da eficiência energética em todos os sectores da economia, investigar e promover a aplicação de tecnologias inovadoras “amigas do ambiente” e encorajar a criação de novas políticas e medidas que limitem ou reduzam os GEE [41].

A assinatura do Protocolo de Quioto incentivou a criação de políticas ambientais e implicou a aprovação de um conjunto de planos de acção e de directivas ao nível da UE.

No entanto, as questões ambientais não se tornaram apenas uma prioridade europeia a partir da assinatura deste protocolo, fazendo já previamente parte das opções gerais e estratégicas da Europa. Como tal, foi implementado um conjunto de medidas para alcançar os objectivos comunitários, atingindo diversos sectores da sociedade, nomeadamente o sector da construção.

O Quadro 3.1 sumariza as principais directivas europeias, nos últimos anos, relativas ao sector da construção, mais precisamente à eficiência energética dos edifícios.

Quadro 3.1 - Documentos políticos europeus referentes à eficiência energética dos edifícios

DIRECTIVAS / PLANOS DE ACÇÃO DA UE	OBJECTIVOS	PROPOSTAS
Directiva 89/364/CEE (Comunidade Económica Europeia) [43]	Adopção de acções com vista a melhorar a eficácia da utilização da electricidade.	<ul style="list-style-type: none">- Criação de um programa comunitário que influencie o consumidor de electricidade no sentido da utilização eficiente de aparelhos e equipamentos de elevado rendimento eléctrico;- Incentivo ao aperfeiçoamento da eficácia dos equipamentos e aparelhos eléctricos.
Directiva 91/565/CEE [44]	Aprovação do primeiro programa SAVE (com duração de 5 anos) – programa para a promoção do rendimento energético na comunidade.	<ul style="list-style-type: none">- Fixação de objectivos sectoriais de rendimento energético e acompanhamento da evolução nestes sectores;- Criação de medidas para incentivar actividades de formação e informação sobre eficiência energética.

<p>Directiva 93/76/CEE [45]</p>	<p>Limitação das emissões de CO₂ através do aumento da eficiência energética.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Certificação energética dos edifícios; - Facturação das despesas de aquecimento, ar condicionado e águas quentes sanitárias (AQS) com base no consumo real; - Isolamento térmico de edifícios novos; - Financiamento por terceiros dos investimentos em eficiência energética no sector público; - Inspeção periódica das caldeiras; - Auditorias energéticas nas empresas com elevado consumo de energia.
<p>Plano de acção para melhorar a eficiência energética na Comunidade Europeia [46]</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Recentrar a atenção na promoção da eficiência energética e mobilizar as partes interessadas; - Apresentar, para aprovação, políticas e medidas comuns e coordenadas a aplicar à luz do Protocolo de Quioto; - Concretizar o potencial económico disponível para melhoria da eficiência energética em harmonia com o objectivo proposto de redução anual de um ponto percentual da intensidade energética. 	<ul style="list-style-type: none"> - Isolamento de novos edifícios, que devem incluir sistemas de aquecimento e outros sistemas instalados de modo a permitir a utilização de energias renováveis; - Imposição de normas de eficiência na concessão ou renovação de licenças; - Aumento das exigências de Certificação em matéria de energia (alteração da Directiva 93/76/CEE); - Formação e certificação de instaladores.
<p>Directiva 2002/91/CE [47]</p>	<p>Promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios da comunidade, sendo resultado do plano de acção para melhorar a eficiência energética na Comunidade Europeia.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Enquadramento geral para uma metodologia de cálculo do desempenho energético integrado nos edifícios; - Aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético dos novos edifícios; - Aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético dos grandes edifícios existentes que sejam sujeitos a importantes obras de renovação; - Certificação energética dos edifícios;

		<ul style="list-style-type: none"> - Inspeção regular de caldeiras e de instalações de ar condicionado nos edifícios.
Directiva 2006/32/CE (Comissão Europeia) [48]	<ul style="list-style-type: none"> - Revogar a Directiva 93/76/CEE; - Incrementar a relação custo-eficácia na melhoria da eficiência na utilização final de energia. 	<ul style="list-style-type: none"> - Aquecimento e arrefecimento mais eficientes; - Aumentar o isolamento térmico e os sistemas de ventilação natural (sistemas passivos); - Instalação de dispositivos de aquecimento de águas quentes sanitárias mais eficientes; - Instalação de lâmpadas mais eficientes; - Utilização de sistemas de recuperação de calor e de electrodomésticos mais eficientes.
Proposta de Directiva relativa à eficiência energética (Iniciativa 20/20/20) [49]	<ul style="list-style-type: none"> - Concretização da estratégia de eficiência energética definida no projecto “Europa 2020: Estratégia para um crescimento inteligente, sustentável e inclusivo”; - Reduzir as emissões de GEE em pelo menos 20 % relativamente aos níveis de 1990; aumentar para 20 % a quota de energias renováveis no nosso consumo final energético e aumentar em 20 % a eficiência energética. 	<ul style="list-style-type: none"> - Tornar os edifícios energeticamente mais eficientes, baixando consideravelmente o consumo energético, recorrendo, essencialmente, a sistemas passivos; - Propor requisitos energéticos mínimos mais exigentes.

Portugal, como membro da UE, apresenta uma estratégia nacional em concordância com as directivas comunitárias. Foram, por isso, estabelecidos diversos Planos de Acção nacionais e implementados Decretos-Lei que vão de encontro às normas comunitárias, no que respeita à eficiência energética, tal como consta do Quadro 3.2

Quadro 3.2 - Medidas nacionais do âmbito da eficiência energética dos edifícios

DECRETOS-LEI / PLANOS DE ACÇÃO	OBJECTIVOS	PROPOSTAS
Decreto- Lei nº40/90 [50]	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), que estabelece regras de modo a que: - as exigências do conforto térmico no interior dos edifícios possam vir a ser asseguradas sem dispêndio excessivo de energia; - os elementos da construção não sofram de patologias derivadas de condensações.	- Limitação das necessidades nominais de aquecimento e arrefecimento; - Estabelecimento de requisitos mínimos de qualidade térmica dos edifícios; - Definição de regras de licenciamento, fiscalização e sanções.
Programa E4 (2001) [51]	Promoção da eficiência energética e da valorização das energias endógenas.	- Diversificação do acesso às formas de energia disponíveis no mercado e aumento das garantias do serviço prestado pelas empresas da oferta energética; - Promoção da melhoria da eficiência energética, contribuindo para a redução da intensidade energética do PIB e da factura energética externa; - Promoção da valorização das energias endógenas, nomeadamente a hídrica, a eólica, a biomassa, a solar (térmica e fotovoltaica) e a energia das ondas.
Decreto-Lei nº78/2006 [52]	Implementar o Sistema de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE).	- Assegurar a aplicação regulamentar, nomeadamente no que respeita às condições de eficiência energética, à utilização de sistemas de energias renováveis e, ainda, às condições de garantia da qualidade do ar interior, de acordo com as exigências e disposições contidas no RCCTE (Decreto-Lei

		<p>nº80/2006) e no Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios (RSECE) (Decreto-Lei nº79/2006);</p> <ul style="list-style-type: none"> - Certificar o desempenho energético e a qualidade do ar interior nos edifícios; - Identificar as medidas correctivas ou de melhoria de desempenho aplicáveis aos edifícios e respectivos sistemas energéticos, nomeadamente caldeiras e equipamentos de ar condicionado, quer no que respeita ao desempenho energético, quer no que respeita à qualidade do ar interior.
<p>PNAEE (2008) ou “Portugal Eficiência 2015” [53]</p>	<p>Reduzir a taxa de crescimento da factura energética em cerca de 10% até 2015.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Reabilitação energética do parque habitacional degradado; - Aumento da penetração da micro-geração (com incentivos à produção) e do solar térmico (Programa Renove – Solar Térmico); - Certificação energética dos edifícios do Estado (20% dos edifícios do Estado com classe igual ou superior a B-); - Sensibilização da população para a necessidade da eficiência energética (Programa Mais); - Programa Renove Casa, com a utilização da janela eficiente, do isolamento térmico eficiente e de recuperadores de calor.

Das acções legislativas aplicadas a nível nacional, as que têm maior repercussão prática a nível energético para o sector da construção são os Decretos-lei nº78/2006 (SCE), 79/2006 (RSECE) e 80/2006 (RCCTE), que regulamentam, caracterizam e certificam o desempenho energético dos edifícios.

3.5 A avaliação do desempenho energético dos edifícios

3.5.1 O RCCTE

A primeira legislação que impôs requisitos térmicos na edificação, surgiu a 6 de Fevereiro de 1990 com o Decreto-Lei nº 40/90, em que se estabeleceu o primeiro RCCTE. Foram nessa altura introduzidos no projecto de edifícios os aspectos térmicos e energéticos, através da definição de requisitos mínimos para a envolvente.

Este Regulamento introduziu regras que tiveram em conta o conforto térmico, o consumo de energia e a ocorrência de condensações na estrutura, incluindo exigências e limites para necessidades de aquecimento no Inverno e necessidades de arrefecimento no Verão [50].

Em 2006, no seguimento da Directiva Europeia 2002/91/CE e com o objectivo de melhorar o desempenho energético dos edifícios, Portugal publicou o SCE, o RSECE e o RCCTE, através dos Decretos-Lei nº78/2006, nº79/2006 e nº80/2006, respectivamente.

Neste novo RCCTE e no RSECE foram reforçados os mecanismos de comprovação do cumprimento regulamentar, criando um modelo de certificação energética, através do SCE.

O RCCTE aplica-se a todos os novos edifícios de habitação e aos novos edifícios de serviços sem sistemas de climatização centralizados, com excepção das seguintes situações [54]:

- Edifícios de serviços com mais de 1000m² de área útil, excepto centros comerciais, hipermercados, supermercados e piscinas cobertas que são considerados pequenos quando a área útil do pavimento é inferior a 500m² (sendo estes do âmbito exclusivo do RSECE);
- Edifícios de serviços que tenham mais de 25kW de potência instalada de climatização, independentemente da área útil (sendo estes do âmbito exclusivo do RSECE);
- Edifícios de habitação com sistemas de climatização de potência instalada superior a 25kW (do âmbito do RSECE);
- Edifícios ou fracções autónomas destinados a serviços, a construir ou renovar que, pelas suas características de utilização, se destinem a permanecer frequentemente abertos ao contacto com o exterior e não sejam aquecidos nem climatizados;
- Edifícios utilizados como locais de culto e os edifícios para fins industriais, afectos ao processo de produção, bem como garagens, armazéns, oficinas e edifícios agrícolas não residenciais;
- Intervenções de remodelação, recuperação e ampliação de edifícios em zonas históricas ou em edifícios classificados, sempre que se verifiquem incompatibilidades com as exigências do RCCTE (as incompatibilidades devem ser convenientemente justificadas e aceites pela entidade licenciadora).

Para efeitos do RCCTE, o País é dividido em três zonas climáticas de Inverno, I1, I2 e I3 e em três zonas climáticas de Verão V1, V2 e V3, tal como se pode observar na Figura 3.11. Esta divisão climática é feita por concelhos e está de acordo com o previsto no artigo 1º, da Directiva 2002/91/CE, que estipula que os requisitos energéticos devem ter em conta as condições climáticas externas e locais.

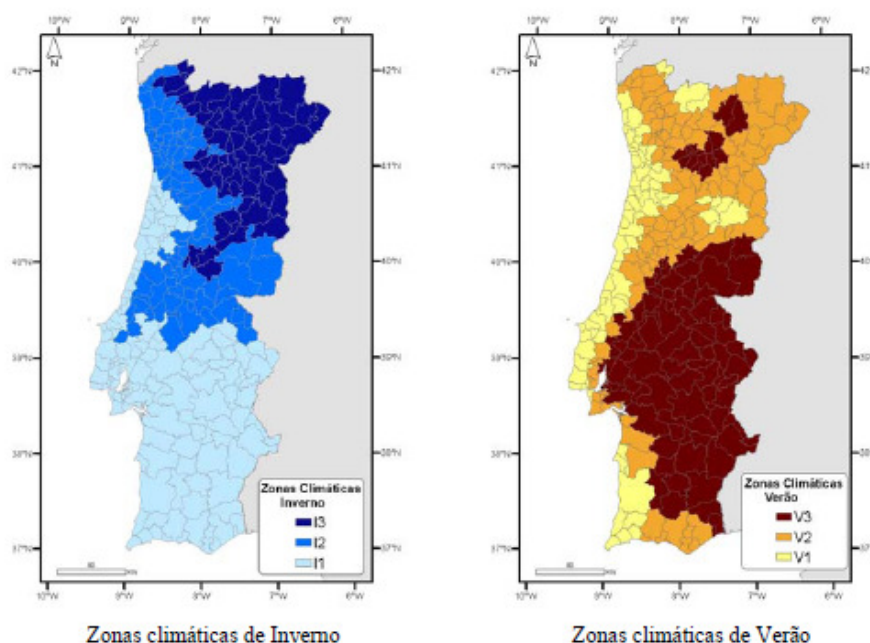


Figura 3.11 - Mapa do zonamento climático, segundo o RCCTE [54]

Na análise do RCCTE, a caracterização do comportamento térmico dos edifícios faz-se através da quantificação dos seguintes índices [55]:

- Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento, N_{ic} ;
- Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento, N_{vc} ;
- Necessidades nominais anuais de energia para produção de águas quentes sanitárias, N_{ac} ;
- Necessidades globais de energia primária, N_{ic} .

Na Figura 3.12 apresenta-se o princípio de verificação do RCCTE, em que se recomenda que as necessidades nominais anuais (N_{ic} , N_{vc} e N_{ac}) sejam inferiores ou iguais às necessidades nominais para as condições de referência (N_i , N_v e N_a), expressas em $\text{kW/m}^2\cdot^\circ\text{C}$. O valor das necessidades globais de energia primária é função das várias necessidades nominais e também está limitado por um valor de referência.

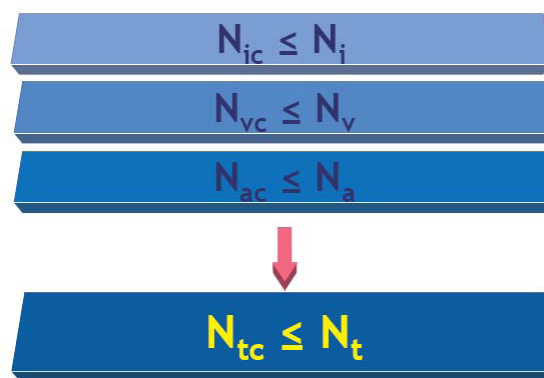


Figura 3.12 - Princípio da verificação do RCCTE [56]

A metodologia de cálculo para os diferentes índices referidos é feita, genericamente, com base no nº 3 do artigo 4.º do Decreto-Lei nº80/2006, que contempla quatro parâmetros a quantificar [55]:

- Coeficientes de transmissão térmica, superficiais e lineares dos elementos da envolvente – contabilização das transmissões de calor pelas paredes e também pelas pontes térmicas, quer para o exterior, quer para locais não aquecidos;
- Classe de inércia térmica do edifício ou da fracção autónoma – capacidade de contrariar as variações de temperatura no seu interior, o que acontece devido à capacidade dos elementos construtivos acumularem calor;
- Factor solar dos envidraçados – contabilização dos ganhos solares dos vãos envidraçados, que variam de acordo com o tipo de vidro, de caixilharia, de sombreamento e com a orientação solar.
- A taxa de renovação do ar – possibilidade de aumentar a qualidade do ar interior, tendo também a capacidade de transferir energia entre o interior do edifício e a sua envolvente.

O RCCTE estabelece requisitos mínimos na qualidade da envolvente, isto é, nos elementos construtivos do edifício ou fracção a certificar. Estes requisitos englobam limitações para coeficientes de transmissão térmica (U) superficial de elementos opacos da envolvente e para factores solares de vãos envidraçados. Os coeficientes máximos admissíveis são definidos consoante o zonamento climático de Inverno e em função do tipo de envolvente em questão, como apresentado no Quadro 3.3.

Quadro 3.3 - Coeficientes de transmissão térmica de referência [56]

Elemento da envolvente	Zona Climática (*)			
	I1	I2	I3	RA (**)
Elementos Exteriores em Zona Corrente (**)				
Zonas opacas verticais	0,70	0,60	0,50	1,40
Zonas opacas horizontais	0,50	0,45	0,40	0,80
Elementos Interiores em Zona Corrente (***)				
Zonas opacas verticais	1,40	1,20	1,00	2,00
Zonas opacas horizontais	1,00	0,90	0,80	1,25
Envidraçados (****)	4,30	3,30	3,30	4,30

(*) Ver anexo III do RCCTE

(**) Regiões autónomas da Madeira e dos Açores, apenas para edifícios na zona I1

(***) Para outras zonas anexas não úteis

(****) Valor médio dia-noite (inclui efeito do dispositivo de protecção nocturna) para vãos envidraçados verticais

De acordo com os parâmetros estipulados pelo RCCTE e a partir da comparação das necessidades globais de energia primária com o seu valor de referência, é possível atribuir uma classe energética ao edifício em estudo, tendo em vista a Certificação Energética pelo SCE.

Na Figura 3.13 são apresentados escalões da Certificação Energética, em função da comparação do consumo em energia primária com o consumo de referência.

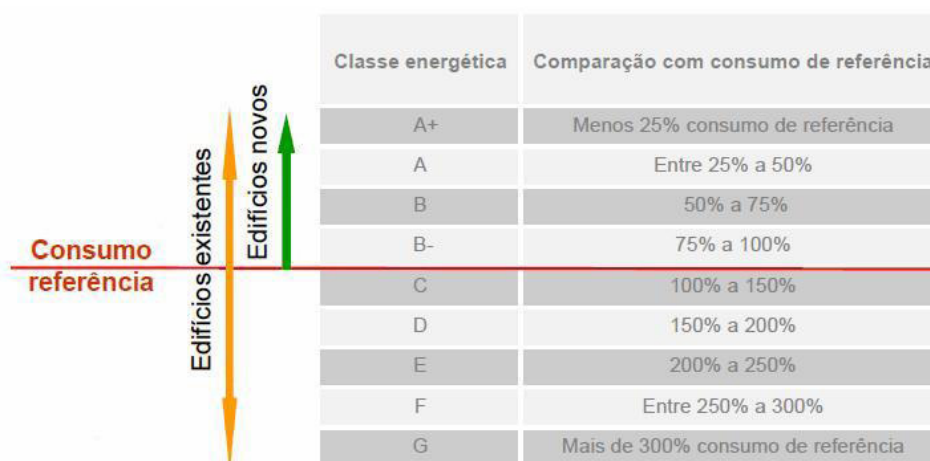


Figura 3.13 - Classes energéticas do SCE [57]

Um certificado energético para além de indicar a classe energética do edifício, contempla outras informações relevantes como: as emissões de CO₂; as necessidades nominais de energia útil para aquecimento, arrefecimento e preparação das AQS; o valor de N_t e N_{tc} ; algumas propostas de medidas de melhoria de desempenho energético a adoptar, discriminando a relação custo-benefício e o seu período de retorno.

3.5.2 O EnergyPlus enquanto ferramenta dinâmica de avaliação de desempenho

O *EnergyPlus* foi concebido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, a partir de programas já existentes (Blast e DOE-2). É um programa de simulação de carga térmica e análise energética de edifícios, que pode ser obtido gratuitamente através da internet. Baseado nas descrições da construção e outros parâmetros fornecidos pelo utilizador, o programa calcula as necessidades de aquecimento e arrefecimento necessárias para se manter o controlo térmico do ambiente, a energia consumida pelos equipamentos responsáveis por esse controlo e outros parâmetros necessários para a análise térmica da edificação.

A estrutura do programa é esquematizada na Figura 3.14, sendo ela composta por três componentes básicos: um Controlador da Simulação, um Módulo de Simulação do Balanço de Calor e Massa e um Módulo de Simulação dos Sistemas da Edificação. O Controlador da Simulação coordena os Módulos de Simulação nas suas acções individuais. O programa faz a simulação do balanço térmico de uma determinada zona de um edifício, por exemplo, introduzindo na zona a analisar e os vários sistemas de climatização nela existentes, de modo a se obter os consumos associados à manutenção da temperatura interior num determinado intervalo de conforto. [58]

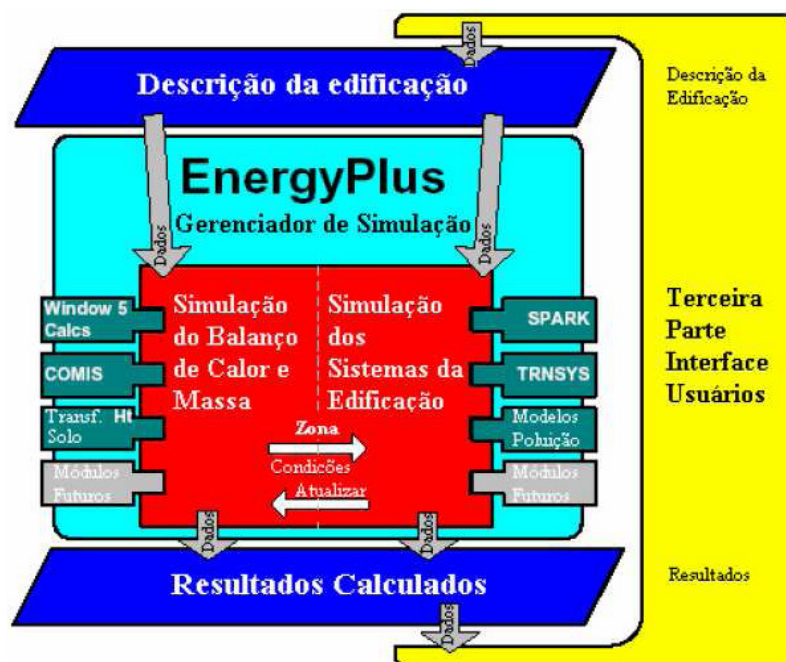


Figura 3.14 - Explicação do funcionamento do EnergyPlus [59]

Na elaboração dos cálculos, o *EnergyPlus* utiliza o conceito de “zona”. Define-se “zona” como um conjunto de espaços que se encontram submetidos ao mesmo controlo térmico. As diferentes “zonas” de uma determinada construção podem interagir termicamente entre si [59].

Uma das vantagens do *EnergyPlus* consiste na sua versatilidade quanto à possibilidade de utilizar um elevado número de parâmetros para efeito da análise térmica e de permitir ainda, contrariamente ao RCCTE, a avaliação de um número ilimitado de zonas térmicas do edifício ou até pertencentes à mesma fracção autónoma.

No entanto, para que o programa consiga simular uma arquitectura é necessário fornecer os dados relativos à sua geometria e aos materiais constituintes, entre outros, de forma a caracterizar, do ponto de vista das soluções construtivas, o edifício a analisar.

Outra das vantagens deste programa prende-se com o facto de permitir simulações por intervalos de tempo inferiores a uma hora, o que permite calcular o comportamento térmico do edifício ao longo de um dia.

O *EnergyPlus* simula a carga térmica de uma edificação com base nas descrições e parâmetros previamente definidos pelo utilizador: geometria do edifício, ficheiro climático da zona de implantação do edifício, materiais e soluções construtivas, sistemas de climatização e hábitos comportamentais dos habitantes em relação à ocupação e utilização de equipamentos e iluminação.

Aquando da elaboração da geometria do edifício, é possível definir as várias zonas térmicas que se pretendem simular. A definição das zonas térmicas pertencentes ao edifício é feita consoante o uso de cada espaço e o sistema de climatização existente.

Alguns dos dados passíveis de se obter com a simulação são: os ganhos internos, a temperatura interior para cada zona térmica, ganhos e perdas através dos vários elementos da envolvente e energia necessária para climatização de modo a manter a temperatura de conforto estipulada.

Os resultados fornecidos pelo software podem ser exportados em forma de tabela e convertidos em gráficos, de forma a permitir ao utilizador uma melhor interpretação dos mesmos.

3.5.3 Análise estática vs Análise dinâmica do desempenho energético dos edifícios

O estudo do comportamento térmico dos edifícios pode ser conseguido com base numa análise estática (RCCTE), dinâmica (*EnergyPlus*) ou com ambas em simultâneo.

A análise estática com recurso ao RCCTE parte de um conjunto de pressupostos que, na realidade, podem não corresponder às condições a que os edifícios estão sujeitos. É, por exemplo, o caso de assumir uma temperatura constante para o interior e exterior, durante as estações de aquecimento e arrefecimento, quando, na verdade, as condições (especialmente as exteriores) são muito variáveis, mesmo ao longo de um só dia. Basta observar um registo de temperaturas ou de humidades relativas de um dia, para se encontrar amplitudes consideráveis.

Contrariamente à análise estática, a abordagem dinâmica permite ao projectista elaborar simulações de grande complexidade com base num elevado número de variáveis, obtendo-se resultados mais próximos da realidade. Com a análise dinâmica é possível analisar ao pormenor, de uma forma rigorosa, os diferentes tipos de gastos energéticos nas diferentes estações do ano e definir soluções com o intuito de tornar o edifício mais eficiente energeticamente.

As principais diferenças entre a metodologia do RCCTE e a do *Energy Plus*, no que respeita à análise de alguns factores que influenciam o desempenho energético dos edifícios estão resumidas no Quadro 3.4:

Quadro 3.4 – Principais diferenças entre o RCCTE e o *EnergyPlus* no que se refere a alguns factores que influenciam o desempenho energético dos edifícios

	RCCTE	<i>ENERGYPLUS</i>
Ganhos internos	Assume um valor para os ganhos térmicos internos por unidade de área útil de pavimento, em função do tipo de utilização do edifício, que é constante ao longo de todo o ano (4 W/m ² para edifícios de habitação).	Variam com os hábitos dos habitantes relativamente à ocupação e utilização de equipamentos e iluminação. Introduzindo no programa os padrões de utilização e a energia emitida pelos equipamentos, iluminação e habitantes, é possível obter um valor mais preciso e realista para os ganhos internos.
Ganhos solares	Assume valores genéricos que têm como base a radiação incidente.	Variam ao longo do dia e do ano, consoante a incidência da radiação solar e a sua intensidade. É também possível definir padrões de utilização para os sombreamentos móveis.
Ventilação	Adopta um valor constante para a taxa de renovação horária, tendo como base o estipulado na norma de ventilação natural NP1037-1, que tem em conta, por exemplo, a classe da caixilharia, a exposição das fachadas do edifício ao vento e a existência de dispositivos de admissão de ar nas fachadas.	Pode-se definir um valor constante para a taxa de renovação horária (à semelhança do RCCTE). É também possível definir um <i>schedule</i> com a variação da taxa ao longo do dia e/ou do ano, sendo assim possível definir soluções de ventilação natural, como a ventilação nocturna durante o Verão.

3.6 O nível de eficiência energética dos edifícios em Portugal

Nas sociedades antigas, a construção dos edifícios era feita com base nos recursos naturais existentes localmente, de acordo com o clima da região e utilizando mão-de-obra local. Ao longo dos tempos, com o desenvolvimento tecnológico, o sector da construção passou a privilegiar a implementação de sistemas de climatização como forma de proporcionar conforto térmico, em detrimento da avaliação do clima exterior e aplicação de soluções apropriadas a esse clima na construção das edificações. Este facto, em conjunto com um aumento da qualidade de vida e exigência de conforto no interior das habitações, levou a uma maior utilização de equipamentos de aquecimento e arrefecimento e, consequentemente, a um aumento do consumo energético dos edifícios.

Este factor, aliado à ineficiência dos equipamentos consumidores, à ineficiência do próprio edifício e aos procedimentos e hábitos de utilização de ambos, tem contribuído para o desperdício energético [40].

Até à publicação da primeira versão do RCCTE, em 1990, praticamente não eram incluídos nos projectos os componentes construtivos relacionados com o desempenho térmico dos edifícios. Este regulamento introduziu os aspectos térmicos e energéticos no estudo e projecto de edifícios, definindo requisitos construtivos mínimos para a sua envolvente [60].

Só a partir desta altura se registou um incremento substancial na utilização de soluções construtivas que permitissem ganhos significativos ao nível da eficiência energética.

Foi com base no RCCTE e no RSECE que se criou o SCE que é, actualmente, a ferramenta que melhor permite proceder à avaliação da eficiência energética dos edifícios em Portugal. Só com a entrada em vigor deste sistema, se tornou possível aferir com algum rigor estatístico um padrão de eficiência energética para o parque habitacional. No entanto, nesta fase, ainda não é possível estabelecer um valor estatisticamente significativo, devido à baixa amostragem que resulta do facto da certificação energética apenas funcionar a partir de Julho de 2007 e ter um carácter obrigatório apenas para construções novas e edificações transaccionadas ou arrendadas a partir de 2009.

De acordo com dados do relatório da *Intelligent Energy Europe* (IEE), até Outubro de 2010, foram emitidos em Portugal 347244 certificados energéticos, dos quais 92% correspondem a edifícios residenciais [61].

Tal como demonstrado na Figura 3.15, ao nível das novas construções, para as quais existe um limiar mínimo de classificação (B-), a maior parte dos certificados energéticos emitidos são de classe A (41%). Relativamente aos edifícios existentes, o nível de certificação mais representado é a classe C, correspondendo a 32,8% do total de certificados emitidos, sendo que a classe máxima de certificação (A+) é a menos representada, com apenas 0,5% do total.

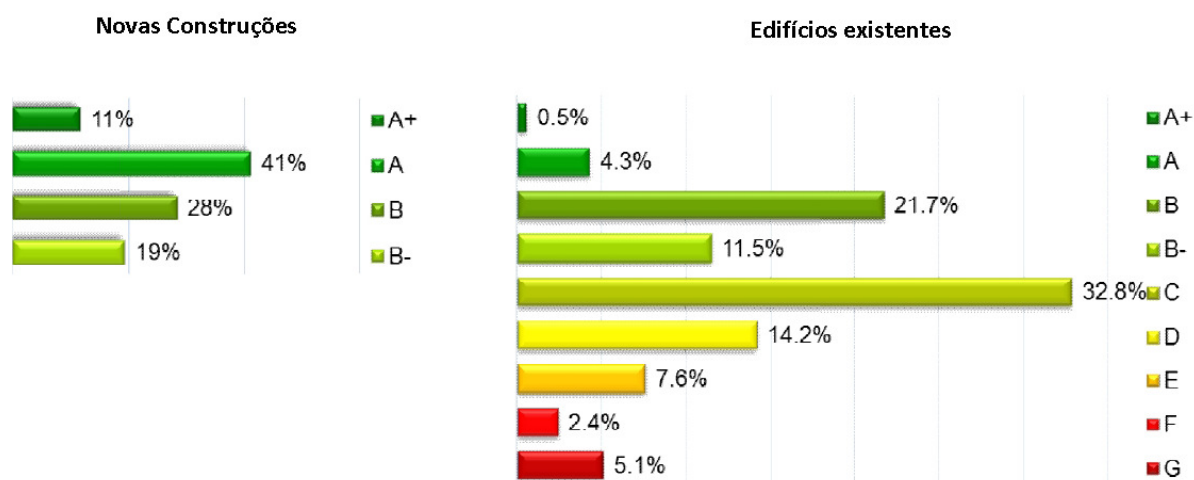


Figura 3.15 - Distribuição dos certificados energéticos emitidos em Portugal, até Outubro de 2010 [61]

Fazendo uma leitura dos certificados energéticos emitidos é possível observar que, globalmente, o desempenho térmico dos edifícios está dentro dos padrões de referência. De acordo com a Figura 3.16, o valor do coeficiente de transmissão térmica superficial para a envolvente exterior está abaixo do valor de referência indicado pelo RCCTE, com excepção da zona climática I3. No que diz respeito às necessidades de energia para aquecimento verifica-se que o valor relativo aos certificados energéticos está, em média, 12 kWh/m².ano abaixo do valor máximo de referência.

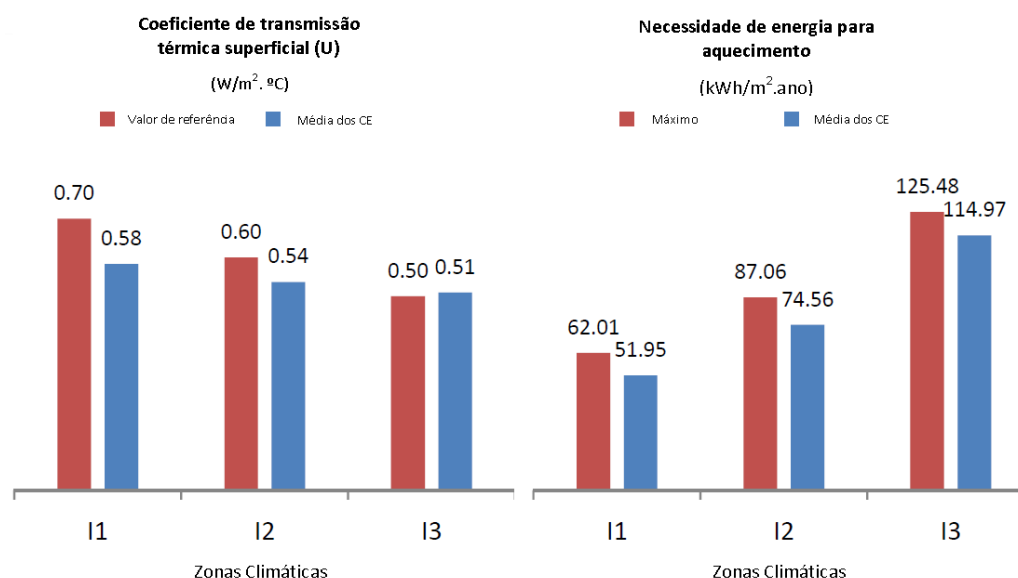


Figura 3.16 - Valores médios e de referência para o coeficiente de transmissão térmica superficial e necessidades de energia para aquecimento, nos edifícios certificados [61]

A aplicação do RCCTE e consequente obrigatoriedade da certificação energética tem introduzido uma maior exigência no sector da construção, o que se traduz numa alteração nas soluções construtivas a aplicar nos edifícios.

Só através da avaliação do nível de eficiência energética dos edifícios tem sido possível identificar as lacunas existentes no parque edificado português, podendo levar a uma melhoria das condições de conforto e a menores custos em termos de utilização de energia.

Aquando da emissão do certificado energético, para além da avaliação do desempenho energético do edifício, são feitas algumas recomendações de possíveis estratégias a aplicar que levem à obtenção de uma classe energética mais favorável. As principais recomendações feitas pelos peritos nos certificados energéticos são: a instalação de sistemas de aquecimento de AQS com alta eficiência energética (32%), a colocação de isolamento térmico na envolvente (20%) e colectores solares (18%) e a utilização de envidraçados mais eficientes (10%) [61].

Tendo em conta estas recomendações, nos últimos anos tem sido desenvolvido um vasto leque de medidas de forma a melhorar a eficiência energética dos edifícios, que podem ir desde a aplicação de componentes energeticamente eficientes dos edifícios, como sistemas de envidraçados avançados e/ou isolamento térmico até a adopção de estratégias passivas de ventilação.

4. O CONTRIBUTO DAS SOLUÇÕES SUSTENTÁVEIS PARA A MELHORIA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Nos últimos anos, e na sequência das questões de sustentabilidade abordadas anteriormente, tem sido constante a procura de soluções técnicas que conduzam à melhoria do desempenho energético e do comportamento térmico dos edifícios.

É possível construir casas confortáveis ambientalmente, com consumos reduzidos de energia, recorrendo essencialmente a sistemas passivos, complementados, ou não, com sistemas activos adequados.

Nesta perspectiva, e no âmbito da construção sustentável, deve-se ter em atenção um conjunto de factores, entre os quais, as condições climáticas do local onde os edifícios são implementados, a qualidade da envolvente (isolamento térmico, inércia térmica, vãos envidraçados, etc.) e a eficiência dos equipamentos utilizados.

As estratégias construtivas podem ser passivas ou activas. As soluções passivas referem-se ao uso e controlo dos fluxos naturais de energia que envolvem o edifício, tais como a radiação solar e o vento, com o objectivo de fornecer luz, aquecimento, arrefecimento e ventilação [62]. As soluções activas consistem em equipamentos que promovem o conforto e/ou a eficiência energética, podendo funcionar em paralelo com as soluções passivas. Do ponto de vista da construção sustentável, os sistemas activos devem conduzir a uma utilização racional da energia.

Apresenta-se de seguida a caracterização de algumas soluções passivas e activas possíveis para promover a melhoria do desempenho energético e fomentar, simultaneamente, o conforto térmico dos edifícios.

4.1 Soluções passivas

4.1.1 Orientação e implantação do edifício

A orientação correcta do edifício deve ser feita em função do percurso solar, de modo a permitir um melhor aproveitamento da energia do sol como fonte de conforto (luminoso e térmico).

Existe uma diferença do ângulo de incidência do Sol, consoante as estações do ano, o que permite um aproveitamento diferenciado da energia solar. Essa situação atinge os extremos nas estações de Inverno e Verão, de acordo com a Figura 4.1.

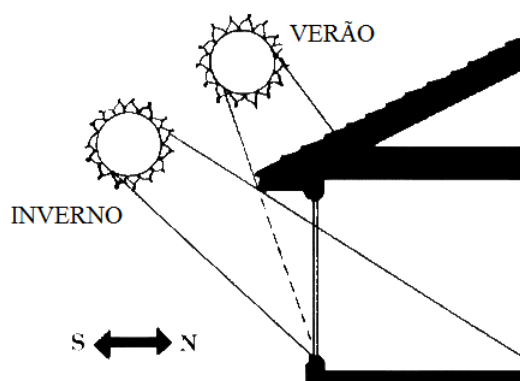


Figura 4.1 - Ângulo de incidência solar nos edifícios durante as estações de Inverno e Verão [63]

Tendo em conta o clima português, a orientação privilegiada dos edifícios deve ser a Sul, visto ser aquela que mais optimiza os ganhos solares ao longo de todo o ano. A orientação a Sul deixa entrar o sol para o interior do edifício apenas durante a estação de Inverno e, como tal, os compartimentos com maior exigência solar e as zonas com maior área de envidraçados devem orientar-se segundo essa direcção [64].

Por outro lado, quando o edifício está orientado a Oeste, durante a estação de Inverno a fachada recebe pouca radiação, devido ao ângulo de incidência elevado, durante poucas horas (apenas durante a tarde). Para evitar ganhos solares excessivos, durante a estação de Verão é necessário ter um maior cuidado em termos de áreas envidraçadas, tipo de vidro e sombreamentos, devido à abundância de radiação solar incidente numa fachada com esta orientação [65].

Para uma fachada orientada a Este, os efeitos da acção solar são semelhantes aos de uma fachada orientada a Oeste, diferindo, apenas, no período do dia em que o Sol incide na mesma.

Uma fachada orientada a Norte não recebe nenhuma radiação directa durante o Inverno e durante o Verão recebe apenas radiação directa no princípio da manhã e fim de tarde, tornando esta orientação a menos problemática em termos de radiação solar mas sendo, no entanto, a mais fria [65].

Nem sempre é possível determinar a orientação dos edifícios durante a fase de projecto, em especial em áreas urbanas consolidadas, pois a disposição geral do plano urbano já foi definida à partida. Então, é importante considerar a incidência dos raios solares em todas as orientações existentes de modo a optimizar o conforto nos espaços interiores.

O sombreamento das fachadas, através dos edifícios circundantes, é, também, um factor relevante. Cada edifício projecta uma sombra permanente, que é diferente em cada momento, consoante o ângulo solar. É a distância entre edifícios que determina se esta sombra afecta as fachadas de outros edifícios. É importante considerar correctamente as distâncias entre edifícios de modo a eliminar as sombras projectadas sobre fachadas Sul de edifícios de habitação, principalmente durante o Inverno [64].

Na generalidade, os edifícios habitacionais em banda, tendo como separação as fachadas Este/Oeste, são mais eficientes. Isto ocorre porque existe uma menor exposição ao Sol e ao vento, e

porque as zonas em contacto têm os mesmos requisitos térmicos em ambos os edifícios.

4.1.2 Vãos envidraçados

Os vãos envidraçados constituem grande parte da envolvente dos edifícios de habitação e, como estão em contacto directo com o ambiente exterior, são propícios à ocorrência de grandes trocas de calor. Podem, por isso, representar uma parcela significativa na energia consumida pelos edifícios para aquecimento e arrefecimento. Quando aplicados eficientemente, contribuem para otimizar o desempenho energético e ambiental dos edifícios, ao ponto de existirem sistemas envidraçados que atingem um grau de desempenho energético semelhante ao de uma parede maciça vulgar [64].

Atendendo à sua reduzida espessura, os envidraçados são elementos com um U mais elevado do que o dos restantes elementos da envolvente, sendo responsáveis por uma grande parte das perdas de calor. De uma forma geral, da radiação total que incide num vão envidraçado, uma parte é transmitida instantaneamente para o interior, outra imediatamente reflectida para o exterior, e uma terceira parte é absorvida pelo vidro. Desta terceira parte, que é absorvida e que representa a energia acumulada no vidro, há ainda uma parcela que posteriormente é enviada para o interior e outra que segue para o exterior, devido a fenómenos de convecção e radiação [66].

Como referido no ponto anterior, o dimensionamento adequado das áreas envidraçadas em função da orientação solar é uma medida que contribui consideravelmente para o conforto térmico das habitações. Existem outros factores relevantes para o dimensionamento das janelas, como o tipo de envidraçados e a qualidade da caixilharia.

O vidro é um material que confere um fraco isolamento térmico às edificações. No Inverno, o seu elevado U leva a que as perdas de calor, derivadas do diferencial de temperatura entre o exterior e o interior, sejam muitas vezes elevadas. Por outro lado, no Verão, esses ganhos de calor podem ser excessivos, levando a situações de desconforto. Assim, torna-se necessário conhecer os diferentes tipos de vidro e as suas principais características térmicas, de forma a escolher-se a melhor solução.

O sistema de envidraçados pode ser constituído por vários panos de vidro, o que influencia o U. Com a introdução de um segundo pano é possível reduzir esse valor para metade. A introdução de um maior número de panos, embora continue a reduzir esse coeficiente, fá-lo numa proporção menor. É também importante notar que os vidros triplos e quádruplos reduzem a quantidade de radiação solar e de luz visível que os atravessam e têm um custo superior aos vidros simples ou duplos [66].

Em alternativa à adição sucessiva de panos podem ser aplicadas películas de baixa emissividade, o que contribui para um aumento da reflexão do calor, aumentando a capacidade de isolamento térmico da janela. Com esta solução é possível reduzir ainda mais o U sem incrementar excessivamente a espessura da janela.

Na procura de reduzir as perdas de calor ocorridas através dos envidraçados, é possível preencher o espaço de ar entre panos de vidro com gases menos condutores. Os gases mais utilizados

para esse efeito são o árgon e o cripton (gases inertes, não tóxicos, não reactivos, incolores e sem cheiro).

A utilização de vidros coloridos pode ser outra alternativa ao aumento do desempenho dos vãos, na medida em que diminui a quantidade de radiação solar que é transmitida instantaneamente para o interior. Este tipo de vidros tem um melhor desempenho do que um vidro normal durante o Verão, uma vez que reduz os ganhos solares, situação que não é ideal durante o Inverno pois irá aumentar as necessidades de aquecimento. Um vidro colorido também diminui a quantidade de luz visível que o atravessa, resultando num incremento dos gastos com a iluminação artificial.

Um vão envidraçado, para além da parte envidraçada é composto também pelo seu caixilho, que promove a operacionalidade dos vãos, suportando os panos de vidro, absorvendo os movimentos e influenciando o comportamento em termos de ventilação.

Com uma caixilharia eficiente regista-se uma redução das trocas de calor, o que é verificável quando se utiliza uma caixilharia plástica em vez de uma caixilharia metálica (mesmo com corte térmico). A estanquidade da caixilharia também permite controlar o intercâmbio térmico entre o interior e o exterior e, por isso, tem de se ter em atenção as estratégias de ventilação, de forma a garantir as renovações de ar.

Segundo Sirgado (2010), que efectuou um estudo comparativo de vãos envidraçados e o seu impacto no desempenho energético dos edifícios em Portugal, o tipo de vidro e o material dos caixilhos têm uma influência reduzida no consumo energético dos edifícios [66].

O vidro duplo com película de baixa emissividade é o que apresenta o melhor desempenho térmico ao longo da estação de aquecimento, sendo os vidros simples e os vidros coloridos os que levam ao pior desempenho térmico durante esta estação. Durante o Verão, os vidros coloridos apresentam o melhor desempenho térmico e os vidros com película de baixa emissividade têm o pior desempenho térmico, devido ao seu impacto em termos de ganhos solares [66].

Numa análise anual, em climas semelhantes ao da região de Lisboa, os envidraçados que apresentam melhor desempenho são os vidro triplos e os vidros duplos, com ou sem película de baixa emissividade. O aumento do espaçamento entre panos ou o preenchimento desse espaço com gases inertes não apresentam melhorias significativas para o desempenho térmico. Quanto às caixilharias, o melhor material a utilizar é o PVC, seguido da madeira. O material mais desfavorável do ponto de vista térmico é o alumínio, quer apresente ou não corte térmico [66].

4.1.3 Sombreamento

Os elementos de sombreamento funcionam como uma protecção aplicada pelo exterior ou interior dos vãos envidraçados, de modo a reduzir ou controlar a incidência da radiação solar, evitando ganhos térmicos indesejáveis.

Os sombreamentos de um edifício podem ser fixos (palas) ou amovíveis (estores, portadas,

toldos).

Na escolha dos sistemas de sombreamento deve-se ter em consideração os seguintes aspectos, que irão contribuir para um melhor desempenho energético da habitação [64]:

- proteger os vãos envidraçados da radiação indesejada, sem necessariamente alcançar a oclusão nocturna;
- permitir uma boa ventilação natural (com a janela aberta), mesmo quando este se encontra descido e orientado na posição de sombrear;
- ser facilmente operável, preferivelmente pelo interior, permitindo controlar o nível de luminosidade e de entrada dos raios solares para o interior;
- é importante garantir uma distância suficiente entre o elemento de sombreamento e o vão envidraçado, para evitar que a radiação térmica captada pelo próprio elemento de sombreamento seja transmitida para o interior.

Em concordância com estes aspectos, a aplicação de dispositivos de sombreamento amovíveis, quer pelo interior quer pelo exterior, é uma solução que apresenta um desempenho térmico melhor (em comparação com os sombreamentos fixos), sendo a aplicação pelo exterior a que conduz a melhores resultados [66].

A colocação de palas horizontais e verticais em elevado número ou com dimensões desapropriadas pode fazer com que o consumo energético dos edifícios dispare durante a estação de aquecimento, levando, desta forma, a um maior consumo de energia primária para climatização. No entanto, quando se conjuga os dois tipos de sombreamento, o desempenho térmico dos edifícios tem tendência a ser ainda melhor, mas, tem de se ter em atenção a aplicação de palas fixas ao longo da estação de aquecimento [66].

A colocação estratégica de vegetação também pode contribuir para o sombreamento de vãos envidraçados e fachadas. A aplicação correcta deste tipo de solução pode reduzir a necessidade de colocação de outros tipos de sombreamento.

4.1.4 Ventilação natural

A ventilação natural contribui para a optimização do conforto ambiental e da qualidade do ar interior das habitações.

No contexto climático português, a ventilação natural é extremamente importante para garantir a optimização do conforto no interior do edifício, apresentando como vantagem a utilização de um recurso renovável para contribuir para a renovação do ar a uma taxa adequada.

A ventilação natural dos espaços acontece por diferenças de pressão gerada por acção do vento nas fachadas dos edifícios e por alteração da densidade do ar por acção da temperatura, resultante do aquecimento decorrente das actividades desenvolvidas, do funcionamento dos aparelhos de

aquecimento e dos ganhos solares dos vãos envidraçados [67].

Um dos objectivos da ventilação dos edifícios é garantir a qualidade do ar nos espaços interiores ocupados, sobretudo quanto às boas condições de higiene e salubridade e manter o ar num estado higrométrico que possa evitar a ocorrência de condensações interiores. A ventilação das habitações deve ser geral e permanente, pois toda a actividade humana, desde a preparação dos alimentos, utilização das instalações sanitárias, uso do tabaco, combustão de aparelhos a gás, lavagem e secagem de loiça e de roupa e a própria actividade fisiológica humana, dão origem a grandes quantidades de odores, vapor de água e dióxido e monóxido de carbono.

Para além de manter a qualidade do ar, a ventilação natural tem como objectivo promover o conforto térmico no interior da habitação, sendo responsável pelo equilíbrio térmico entre os espaços.

Durante o Verão, a ventilação natural constitui uma das formas mais eficientes para arrefecer a temperatura interior das habitações, especialmente durante a noite, quando as temperaturas no exterior são mais baixas. Porém, no Inverno, um caudal excessivo de ventilação faz aumentar as necessidades energéticas de climatização, já que o ar exterior se encontra a uma temperatura muito mais reduzida do que a temperatura interior de conforto.

No entanto, a acção térmica só promove uma ventilação eficaz quando a temperatura média no interior apresentar um diferencial superior a 8°C em relação à temperatura média exterior. Quando não se verifica esta situação, a ventilação natural é promovida pelo diferencial de pressões causado pelo vento [67].

Segundo o RCCTE, o valor mínimo de renovações por hora que mantém a higiene e o conforto dos ocupantes, não induzindo perdas térmicas exageradas, é de 0,6 h⁻¹ [55].

Contudo, não é possível assegurar que, usando exclusivamente a ventilação natural, a taxa de renovação de ar projectada seja sempre cumprida, uma vez que os factores que promovem este tipo de ventilação não são controláveis. Por esse motivo, em determinadas situações em que seja absolutamente necessário manter as renovações de ar por hora, a ventilação natural deve ser auxiliada por um método de ventilação mecânica [67].

4.1.5 Envolvente opaca

A envolvente opaca de um edifício corresponde às paredes, coberturas e pavimentos que compõem a sua estrutura.

A transmissão de calor por condução através da envolvente opaca dos edifícios, quer sejam as perdas de calor no Inverno, quer os ganhos indesejáveis no Verão, são fenómenos que influenciam fortemente o comportamento térmico dos edifícios e o seu conforto interior.

É pela envolvente do edifício que se dá uma grande fracção dos ganhos e perdas de energia e, como tal, é fundamental ter em conta o tipo de materiais com que se constrói o edifício, sendo importante a avaliação do seu poder isolante e a sua contribuição para a inércia térmica da habitação.

A inércia térmica corresponde à capacidade do edifício de contrariar as variações de temperatura no seu interior, derivado da possibilidade de os elementos construtivos armazenarem calor e só o libertarem ao fim de um certo tempo. Este é um parâmetro muito importante para o balanço térmico de um edifício, permitindo às estruturas envolventes funcionarem como reservatórios de calor e amortecedores térmicos, ou seja, contrariarem os picos climáticos exteriores, mantendo uniforme a temperatura interior [40].

A inércia térmica é especialmente relevante em climas sujeitos a grandes amplitudes térmicas em curtos espaços de tempo, como é o caso do clima em Portugal, na medida em que permite uma maior estabilização das temperaturas interiores em relação às oscilações térmicas exteriores [64].

A capacidade de inércia térmica depende de várias características como a massa dos elementos construtivos, o calor específico dos materiais e também a sua condutibilidade térmica (quantidade de calor por unidade de tempo que atravessa um dado material com espessura e áreas unitárias por unidade de diferença de temperatura entre as suas duas faces, determinando a permeabilidade de um material à passagem do calor).

A inércia térmica dos edifícios é conseguida através da utilização de materiais pesados, como o betão, tijolos, rebocos, estuques e pedra. Para otimizar o contributo da inércia térmica é importante evitar que estes materiais sejam predominantemente revestidos com materiais leves (tectos falsos, alcatifas, isolamentos pelo interior), na medida em que interrompem o intercâmbio térmico que se pretende manter entre os materiais com elevada inércia térmica e o ambiente interior [64].

Para otimizar o desempenho térmico do edifício deve-se conjugar a elevada inércia térmica dos elementos construtivos com a utilização de isolamento térmico.

O isolamento térmico ajuda a conservar a energia devido à redução das perdas de calor, permitindo o controlo da temperatura superficial das estruturas e reduzindo as flutuações térmicas dos espaços. Além disso ajuda a prevenir o aparecimento de condensações em superfícies.

Fachadas

O isolamento térmico das fachadas pode ser aplicado pelo interior, na caixa-de-ar entre paredes duplas ou ainda pelo exterior do edifício, mas deve ser aplicado preferencialmente de forma contínua pelo exterior.

As principais vantagens e desvantagens dos sistemas de isolamento térmico pelo exterior (ETICS) são apresentadas no Quadro 4.1:

Quadro 4.1 - Vantagens e desvantagens da utilização de ETICS [68]

UTILIZAÇÃO DE ETICS	
VANTAGENS	DESVANTAGENS
<ul style="list-style-type: none"> - Protecção de paredes contra agentes atmosféricos; - Diminuição da espessura das paredes exteriores com consequente aumento da área habitável; - Ausência de descontinuidade na camada isolante; - Correção das pontes térmicas e redução dos riscos de condensação; - Potenciação da inércia térmica das paredes. 	<ul style="list-style-type: none"> - Custo mais elevado, quando comparado com soluções mais tradicionais como paredes duplas; - Aplicação dificultada quando há aberturas e pormenores complicados; - Maior vulnerabilidade da parede ao choque, sobretudo em zonas acessíveis.

As vantagens mais importantes da aplicação deste tipo de sistema que contribuem para o desempenho energético são a potenciação da inércia térmica das paredes e a correção das pontes térmicas.

As pontes térmicas são áreas localizadas na envolvente do edifício onde existe uma maior perda de calor em relação às restantes áreas dos elementos da envolvente. A ocorrência de pontes térmicas é mais frequente nas zonas de vigas e pilares, pois estes elementos têm um U superior ao das paredes exteriores onde estão inseridos. Também ocorrem pontes térmicas de desenvolvimento linear nas intersecções entre elementos ou à volta de janelas e portas. A melhor forma de garantir a correção destes fenómenos é a aplicação de isolamento térmico, de uma forma contínua, só possível pelo exterior, tal como evidenciado pela Figura 4.2 [68].

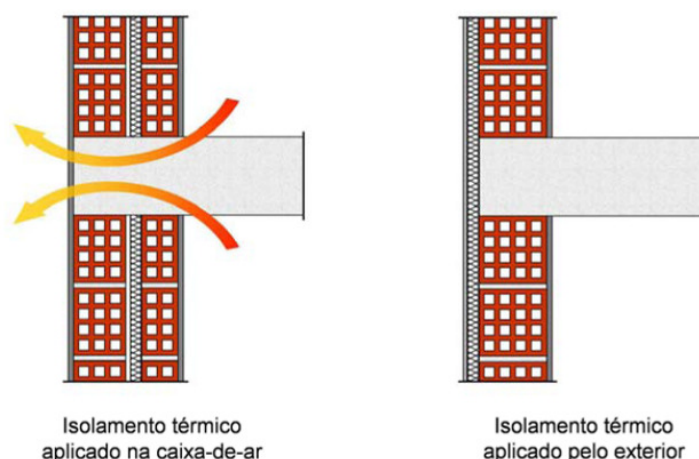


Figura 4.2 - Continuidade de diferentes aplicações de isolamento térmico nas pontes térmicas [69]

O sistema de ETICS (Figura 4.3) é constituído essencialmente por um isolamento em placas que se fixam ao paramento exterior da parede, por meio de cola ou de fixações mecânicas, que depois são cobertas por um revestimento especial, armado com redes de fibra de vidro e protegido por um acabamento, em geral de ligante sintético.

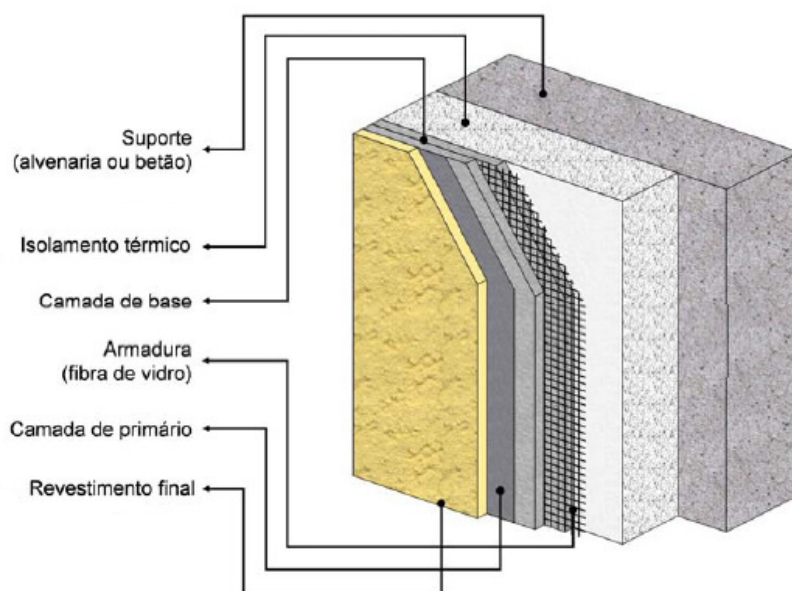


Figura 4.3 - Composição esquemática de um ETICS (Adaptado de [69])

Para este tipo de sistema, estão disponíveis no mercado diversos materiais para isolamento térmico. Estes materiais são porosos e de baixa densidade, sendo os mais utilizados o poliestireno expandido (EPS) e o poliestireno extrudido (XPS), seguindo-se a lã de rocha e a cortiça, que apareceu recentemente como uma alternativa em termos de materiais naturais [40].

A espessura do isolamento térmico pode ser variável, consoante o clima e as necessidades térmicas.

Importa pois fazer uma análise custo-benefício de modo a determinar a melhor solução construtiva face às necessidades energéticas da habitação e tendo em consideração o período de retorno financeiro da aplicação.

Cobertura

Para além das paredes da envolvente, é também pela cobertura que se processa uma grande parte das perdas energéticas existentes, sendo mesmo as superfícies da envolvente que mais contribuem para as perdas de calor num edifício [40].

Por este motivo, o isolamento térmico de uma cobertura deve constituir uma das intervenções prioritárias com vista à diminuição das necessidades energéticas, sendo uma medida simples e pouco dispendiosa [40]. Além disso, a aplicação de coberturas adequadas permite também resolver problemas de impermeabilização.

As coberturas podem ser inclinadas ou horizontais. Em relação às coberturas inclinadas consideram-se dois procedimentos de colocação de isolamento que se diferenciam pelo elemento da cobertura no qual se aplica o isolante térmico e que correspondem ao isolamento da esteira horizontal (caso o desvão não seja habitável) ou ao isolamento das vertentes (caso o desvão seja habitável). Nas coberturas horizontais existem três grandes opções para a colocação de isolamento térmico, que se diferenciam pela posição relativa do isolante térmico a aplicar (isolamento térmico superior, isolamento térmico intermédio e isolamento térmico inferior) [68].

Para além de se recorrer a soluções de coberturas mais tradicionais, pode-se também recorrer a coberturas ajardinadas que se transformam em espaços de atenuação climática, funcionando como barreira de protecção da radiação solar [64].

Pavimentos

Nos edifícios também ocorrem perdas de calor através dos pavimentos, quer sejam pavimentos em contacto directo com o terreno, sobre espaços não aquecidos ou sobre o exterior. Esta situação é especialmente relevante no que se refere ao pavimento em contacto directo com o solo, dado o diferencial de temperatura que pode ocorrer no período de Inverno e a influência que as humidades podem ter para o nível de conforto interior. Este factor é indutor de situações de consumos de energia e, como tal, é necessário isolar termicamente o pavimento com um material de isolamento térmico adequado para este contexto e situação.

Nos pavimentos em contacto com o solo deve-se promover a colocação de isolamento térmico sob a laje, potenciando assim a inércia térmica do edifício. Nesta situação deve-se utilizar como isolamento um material que não altere a sua resistência térmica por estar em contacto com o solo, como é o caso do XPS.

Cores do edifício

As cores utilizadas na envolvente opaca dos edifícios também influenciam o conforto térmico do edifício. Uma superfície lisa de cor preta absorve cerca de 90% da radiação solar incidente, enquanto uma superfície branca reflecte aproximadamente 80% da radiação [40].

A escolha de cores claras para o revestimento das paredes exteriores permitirá, assim, reflectir grande parte da radiação e evitar o sobreaquecimento das habitações.

Este aspecto tem mais importância no Verão, durante o qual a temperatura superficial da envolvente induz um fluxo de calor do exterior para o interior, aumentando as necessidades de arrefecimento.

Parede de Trombe

Uma parede de Trombe é um dispositivo passivo de aproveitamento da energia solar térmica, que é armazenada por um elemento de grande massa durante o dia e libertado durante a noite para o

interior da habitação, aproveitando o princípio da inércia térmica [64].

A superfície exterior de uma parede de Trombe deve ser orientada a Sul e deverá ser de cor escura ou conter uma película selectiva de baixa emissividade, sendo tapada por um envidraçado transparente ou translúcido, formando uma caixa-de-ar de modo a favorecer o “efeito de estufa” (com temperaturas muito elevadas, entre 30 a 60°C no espaço entre o vidro e a parede de armazenamento). A Figura 4.4 ilustra esquematicamente o funcionamento de uma parede de Trombe.

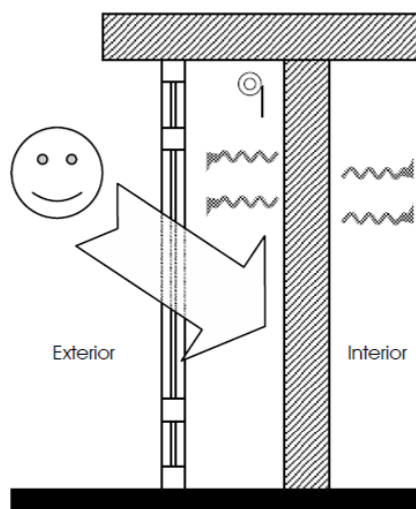


Figura 4.4 - Representação esquemática de uma parede de Trombe [70]

A energia armazenada pela parede pode ser transferida de imediato para o interior do espaço a aquecer, por intermédio da ventilação natural, através de orifícios existentes na parede (parede de Trombe ventilada). Neste modelo, a maior parte da energia incidente é transferida e utilizada directamente, sendo reduzida a energia acumulada na parede [65].

No caso de se pretender utilizar uma parede de Trombe sem ventilação, a energia incidente irá sendo acumulada na parede durante o dia e, por condução, será progressivamente transferida para o interior do espaço a aquecer, cujo tempo dependerá da espessura da parede. Esta solução permite armazenar energia que estará disponível no período nocturno, estabilizando assim as temperaturas nesse espaço. Este tipo de mecanismo favorece locais de ocupação nocturna, como os quartos [65].

Para otimizar a aplicação da parede de Trombe deve ser incluído um dispositivo de sombreamento e isolamento passível de ser activado.

Segundo Mendonça (2005), a utilização eficiente deste tipo de solução deve ser feita de acordo com o apresentado no Quadro 4.2 [70]:

Quadro 4.2 - Modo de utilização eficiente da parede de Trombe, ao longo do ano

	PAREDE DE TROMBE COM VENTILAÇÃO	PAREDE DE TROMBE SEM VENTILAÇÃO
Inverno, de dia	As aberturas de ventilação apenas deverão ser abertas quando a temperatura na caixa-de-ar excede a temperatura do compartimento a aquecer; O dispositivo de sombreamento deverá estar aberto para o sistema absorver o máximo de energia solar térmica.	O dispositivo de sombreamento deverá estar aberto para o sistema absorver o máximo de energia solar térmica.
Inverno, à noite	Com o intuito de reduzir as perdas de calor da parede, o dispositivo de sombreamento deverá estar fechado, assim como as aberturas de ventilação.	O dispositivo de sombreamento deverá estar fechado.
Verão, de dia	As aberturas de ventilação deverão estar fechadas e deverá ser activado o sombreamento do sistema, minimizando a radiação incidente.	O dispositivo de sombreamento deverá estar fechado para não haver sobreaquecimento do espaço.

A superfície de abertura para a termocirculação deverá ocupar entre 0,5% e 3% da superfície total da parede de Trombe. Caso o aquecimento durante o dia seja uma prioridade, as aberturas de ventilação deverão ser de maiores dimensões, de modo a permitir uma maior entrada de fluxo de ar.

Este tipo de sistema, tem como principais vantagens o facto de ser um sistema de aquecimento passivo de baixa manutenção e de controlar as oscilações de temperatura no interior da habitação, aumentando o conforto ao longo do ano.

Alguns dos inconvenientes associados à utilização de paredes de Trombe são a ausência de iluminação natural e o seu fraco desempenho nos longos períodos de céu nublado, o que conduz à utilização de soluções de aquecimento convencionais.

4.2 Soluções activas

4.2.1 Colectores solares térmicos

Portugal é um país que, devido ao facto de ter um clima mediterrânico, apresenta uma elevada quantidade de horas de exposição solar, o que faz com que a energia proveniente do Sol tenha uma

grande potencialidade de ser utilizada nos edifícios portugueses.

Para aproveitar esta oportunidade e incentivar a utilização de fontes de energia renováveis, com vista ao cumprimento das directivas europeias, o RCCTE impõe que todos os edifícios novos, com projecto licenciado a partir de Janeiro de 2008, contemplem a utilização de colectores solares para o aquecimento de AQS.

Segundo a Associação Portuguesa da Indústria Solar (2010), a procura de colectores solares tem vindo a aumentar consideravelmente ao longo dos últimos anos. Em 2009, o número de m² de colectores instalados aumentou mais de 100% em relação ao ano anterior, atingindo os 174392 m², como demonstrado na Figura 4.5 [71].

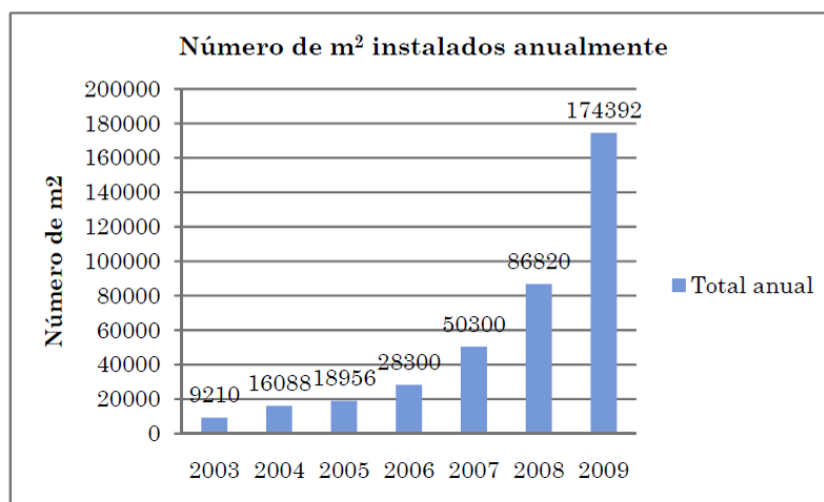


Figura 4.5 - Número de m² de colectores solares instalados anualmente em Portugal, entre 2003 e 2009 [71]

Um colector solar é um dispositivo que converte a energia solar em energia térmica. Genericamente, o sistema é constituído por um painel que recebe a luz do sol, um permutador em que o fluido de aquecimento circula e um depósito em que a água quente é armazenada. [40]

Num edifício de habitação, um sistema solar para aquecimento de AQS deve ser dimensionado de forma a possuir uma área de 1m² por habitante e um depósito com capacidade para 50 a 70 litros por pessoa, o que poderá contribuir para cerca de 70% das necessidades energéticas para o aquecimento de AQS. Este aquecimento é responsável por uma grande percentagem do consumo energético de uma habitação e apresenta valores especialmente elevados em Portugal devido ao facto de ser um dos países europeus que consome mais água quente [40, 64].

Como os colectores solares apenas preenchem 70% das necessidades energéticas para aquecimento de AQS, têm de ser complementados com a utilização de sistemas convencionais para a produção de água quente, onde são usados como fontes de energia a electricidade ou o gás.

Em termos de mecanismos de circulação, os colectores solares dividem-se, essencialmente, em dois sistemas: o de circulação passiva por termosifão e o de circulação forçada.

Um sistema de circulação por termosifão funciona com base na variação da densidade dos

fluidos consoante a temperatura. Como está esquematizado na Figura 4.6, o fluido é aquecido pelo Sol no colector e sobe em direcção ao depósito, forçando a circulação do fluido que lá estava.

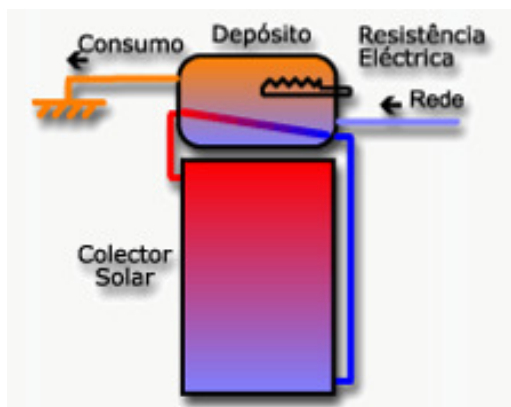


Figura 4.6 - Esquema de um colector solar térmico com sistema de circulação passivo [72]

Nas situações em que não é viável a utilização de um sistema de circulação passivo e, em geral, para os grandes sistemas de colectores solares é necessário recorrer-se à utilização de bombas electrocircularoras para movimentar o fluido, como esquematizado na Figura 4.7. Este tipo de bomba pode ser controlado por um sistema de controlo automático que faça com que a bomba entre em funcionamento quando a diferença de temperatura entre o colector e o depósito assim o justifique (geralmente uma diferença de 5°C).

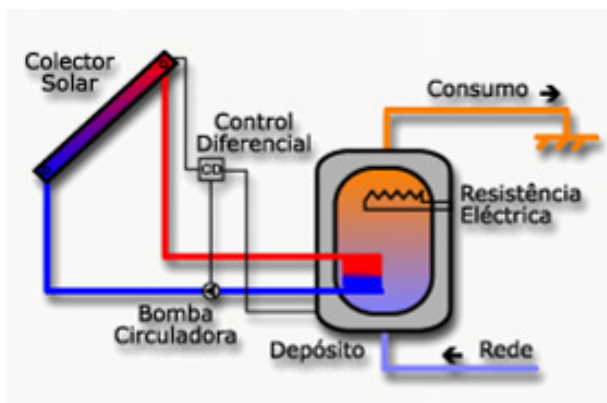


Figura 4.7 - Esquema de um colector solar térmico com sistema de circulação forçada [72]

Para se aumentar ao máximo a eficiência de um sistema de colectores solares térmicos deve-se ter em conta alguns pressupostos: [40]

- Os colectores devem ficar orientados para Sul;
- O ângulo dos colectores relativamente à linha de horizonte deve ser o correspondente à latitude do local, sendo também aceitáveis ângulos mais baixos por razões arquitectónicas e para colectores usados apenas no Verão;
- As tubagens devem ser isoladas de forma a reduzir as perdas de calor desde o colector até ao ponto de utilização;

- Acesso fácil para manutenção e limpeza dos colectores.

A instalação de colectores solares exige um investimento inicial médio de 500-1000€/m² de colector, tendo um período de retorno que varia geralmente entre os 6 e os 10 anos [40].

Do ponto de vista ambiental, este sistema traz inúmeras vantagens, principalmente por permitir diminuir a dependência energética do país e reduzir as emissões de CO₂, resultante do consumo de energia.

4.2.2 Electrodomésticos eficientes

Os electrodomésticos são responsáveis por cerca de 50% da utilização de energia de uma habitação, como foi apresentado no ponto 4.2.

Na aquisição de um electrodoméstico deve-se ter em conta o seu grau de eficiência e que a sua dimensão seja adequada às necessidades. A eficiência dos equipamentos que utilizamos tem sido uma área de grande aposta e, por isso, hoje existe a obrigatoriedade de afixar, na maior parte dos electrodomésticos, o respectivo desempenho energético, representado por uma etiqueta energética. O novo modelo de etiqueta, semelhante à da Figura 4.8, já se encontra em vigor e será obrigatório, a partir do fim de 2011 [73].



Figura 4.8 - Modelo da etiqueta da eficiência energética em electrodomésticos [73]

Esta etiqueta, disponibilizada em alguns electrodomésticos, como os frigoríficos, as máquinas de lavar e secar roupa, de lavar loiça e os fornos eléctricos, informa sobre a classe de eficiência do equipamento, que pode variar entre A+++ e D (a etiqueta anterior podia ir de A a G). Para além disto, são apresentadas outras informações sobre o equipamento, como o consumo anual de energia e de água, o nível de ruído produzido em funcionamento e a capacidade volumétrica.

A aquisição de electrodomésticos mais eficientes permite reduzir significativamente o consumo energético e de água. Isso mesmo foi comprovado por um estudo realizado pela Direcção Geral de Geologia e Energia (DGGE) (2004), em que se comparou os consumos anuais de uma “Família *standard*” e de uma “Família ecológica”, cuja diferença reside apenas na classe de eficiência dos electrodomésticos utilizados.

Da análise do Quadro 4.3, constata-se que a “Família ecológica” consome menos 1448 kWh de electricidade e menos 6,4m³ de água do que a “Família *standard*”, o que corresponde a uma economia de 49% em termos energéticos e 32% em termos de consumo de água.

Quadro 4.3 - Comparação dos consumos de energia e água entre uma “Família *standard*” e uma “Família ecológica” [37]

Equipamentos	Consumo anual de uma “Família <i>Standard</i> ”		Consumo anual de uma “Família Ecológica”	
	Electricidade (kWh)	Água (m ³)	Electricidade (kWh)	Água (m ³)
Frigorífico	380	—	140	—
Congelador	625	—	225	—
Máquina de lavar loiça	396	5,7	264	3,3
Máquina de lavar roupa	240	14,0	180	10,0
Forno eléctrico	306	—	250	—
Computador	200	—	95	—
Audiovisual	335	—	220	—
Iluminação	500	—	160	—
Total	2.982	19,7	1.534	13,3
Diferença entre as duas situações			-1.448	-6,4

Daqui se conclui que um uso racional da energia reduz substancialmente as necessidades energéticas globais de uma habitação portuguesa.

Analisando estritamente a redução dos consumos, obtém-se sempre uma mais-valia económica, que irá, no entanto, variar consoante os preços do kWh e do m³ de água praticados em cada região. Contudo, a análise custo-benefício da aplicação destas medidas deverá também incluir outros factores como a diferença de preço de aquisição dos equipamentos e a sua durabilidade.

4.2.3 Micro-geração

Para se minimizar os gastos energéticos e se diminuir o impacto ambiental resultante do consumo de energia, têm sido criados diversos sistemas de obtenção de energia eléctrica, que resultam de fontes de energia renováveis. Estes sistemas podem ser aplicados a uma escala doméstica, gerando energia para consumo próprio ou para vender à rede pública, sendo designados por sistemas de micro-geração, nos quais se incluem os sistemas fotovoltaicos, eólicos e de aproveitamento da biomassa.

Em Portugal, existe o Programa “Renováveis na Hora”, que tem como principal objectivo promover a substituição do consumo de energia não renovável por energia renovável, proporcionando uma maior facilidade de acesso a tecnologias de micro-geração. Este programa vai de encontro às directivas europeias mais recentes, que visam aumentar a utilização de energias renováveis em 20% até 2020.

A micro-geração apresenta algumas vantagens, a nível económico, ambiental e tecnológico [74]:

- Aumenta a autonomia dos consumidores individuais e das comunidades locais;
- Aumenta a independência energética do Estado relativamente ao exterior;
- Evita alguns investimentos pesados a nível do reforço das infra-estruturas de rede;
- Cria novas oportunidade para a indústria de equipamento e componentes eléctricos;
- É gerador de emprego e impulsionador de crescimento económico;
- Contribui para um melhor desempenho ambiental do sistema energético.

Energia solar fotovoltaica

Um painel fotovoltaico é um dispositivo que permite converter a energia libertada pelo sol, sob a forma de radiação solar, directamente em energia eléctrica.

Os painéis são compostos por uma justaposição de células fotovoltaicas, formando módulos fotovoltaicos. As células fotovoltaicas mais comuns são constituídas por uma placa de silício monocristalino, que é um material semiconductor. O desempenho energético dos painéis varia consoante a luz solar disponível e a inclinação dos módulos, sendo a eficiência de conversão de cerca de 15% [40].

A nível de edifícios, este tipo de sistema pode ser integrado ao nível das fachadas e coberturas. Normalmente o investimento inicial pode ser recuperado, quer ao nível de poupança da energia eléctrica da rede, quer da venda de energia produzida para a rede pública.

No Quadro 4.4 são sistematizadas as principais vantagens e desvantagens da utilização dos painéis fotovoltaicos:

Quadro 4.4 - Vantagens e desvantagens da utilização de painéis solares fotovoltaicos [40]

UTILIZAÇÃO DE PAINÉIS SOLARES FOTOVOLTAICOS	
VANTAGENS	DESVANTAGENS
<ul style="list-style-type: none"> - Alta fiabilidade – não tem peças móveis, o que é útil em aplicações em locais isolados; - Portabilidade e adaptabilidade dos módulos, o que permite montagens simples; - Custos de operação e manutenção reduzidos; - A energia gerada pode ser armazenada em baterias e aproveitada durante os períodos de ausência de radiação solar; - Vantagens ambientais, pelo aproveitamento de uma energia renovável e a criação de produto final não poluente. 	<ul style="list-style-type: none"> - Custo de investimento elevado devido à tecnologia envolvida na produção do sistema; - Rendimento real de conversão reduzido (mesmo nos sistemas mais avançados não ultrapassa os 30%); - Do ponto de vista económico, raramente são competitivos com outro tipo de geradores, como por exemplo, os geradores a gasóleo.

Energia eólica

Esta forma de produção de energia consiste na conversão da energia do vento em energia eléctrica, sendo para isso utilizadas turbinas eólicas.

Tal como exemplificado na Figura 4.9, a energia cinética do vento faz girar as pás das turbinas que fazem rodar um eixo (energia mecânica) que põe em funcionamento um gerador onde os campos magnéticos convertem a energia rotacional em energia eléctrica [40].

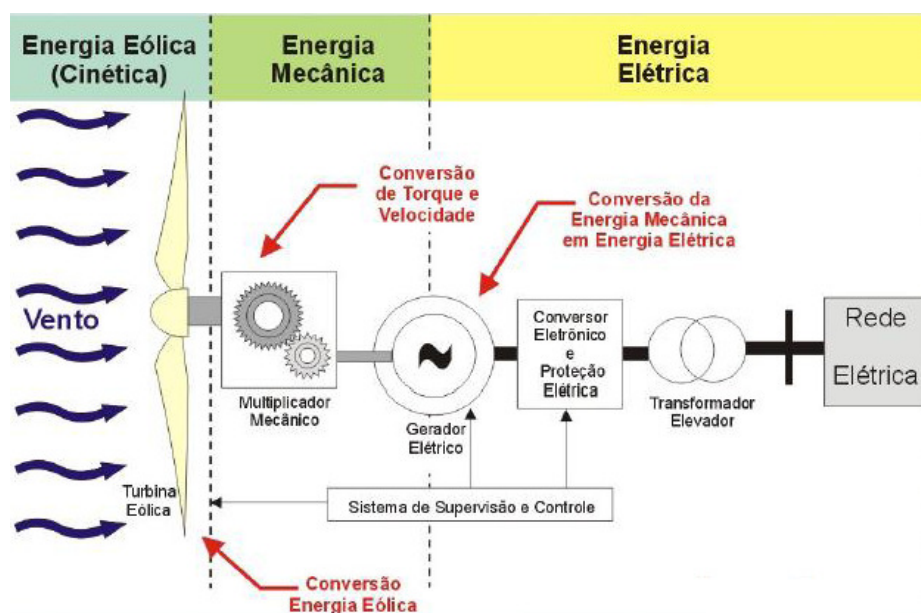


Figura 4.9 - Mecanismo de conversão da energia do vento em energia eléctrica [74]

Existem vários tipos de turbinas, com tamanhos e potências variados. Contudo, as utilizadas para uso em edifícios são pequenas e com uma potência reduzida (inferior a 10kW), sendo mais aconselhada a sua utilização em habitações unifamiliares situadas em zonas ventosas [35].

Em Portugal não é muito comum o uso deste tipo de sistemas associado a edifícios habitacionais, apesar de a sustentabilidade energética de edifícios com produção eólica ser elevado. Segundo Duarte (2010), numa habitação com consumo médio anual de 3740kWh, a produção de energia eólica suporta entre 50-70% das necessidades energéticas, consoante o tipo de aerogerador utilizado (eixo horizontal com duas ou mais pás, ou eixo vertical) [74].

Os sistemas de energia eólica podem ser complementados com sistemas fotovoltaicos, formando sistemas híbridos de micro-geração [40].

Energia da biomassa

A biomassa corresponde à fracção biodegradável de produtos e resíduos que podem ser provenientes da agricultura e floresta, bem como da indústria e actividade urbana, que sejam de aproveitamento energético.

A forma mais tradicional de uso da biomassa é a utilização de lenha e pinhas para aquecimento de habitações, recurso que constitui cerca de 36% do consumo de energia final para aquecimento do ambiente e águas quentes [40].

Actualmente, existem equipamentos mais desenvolvidos e eficientes, que permitem utilizar novos produtos de biomassa, entre eles os “pellets” (grânulos formados por resíduos de serração e processamento de madeira). Os sistemas de aquecimento que utilizam como combustível os “pellets” apresentam elevados níveis de rendimento, tendo como principais vantagens o facto de permitirem um controlo de temperatura com alimentação automática e ausência de fumos [40].

A maioria das aplicações térmicas em edifícios ou redes centralizadas com biomassa, supõem uma poupança de 10%, comparativamente ao uso de combustíveis fósseis, podendo alcançar níveis ainda maiores, dependendo do tipo de biomassa, localização e tipo de combustível fóssil substituído [35].

A biomassa apresenta-se assim como um combustível mais barato e ecológico que os combustíveis tradicionais, podendo constituir uma excelente opção para combinar com o sistema de energia solar térmica na produção de AQS e aquecimento do ambiente interior.

4.3 Análise custo-benefício da aplicação de soluções construtivas sustentáveis

A viabilidade da aplicação de soluções sustentáveis nas habitações depende em grande medida do seu custo, para o promotor da construção e para o comprador final. Uma solução com bom desempenho ambiental mas em que o custo de construção ultrapasse largamente o custo da solução

construtiva convencional, poderá não ser considerada financeiramente sustentável, o que constituirá uma barreira à sua implementação.

Estima-se que a adopção de medidas que permitam a melhoria do desempenho energético na construção nova de edifícios se traduza num acréscimo dos custos de construção na ordem dos 2 a 4% [39].

Apesar deste acréscimo do custo de produção poder não ser muito significativo, a implementação das melhorias depende da percepção que o promotor e o comprador têm das vantagens desse investimento.

Para o promotor, este tipo de investimento na eficiência energética só será rentável se:

- conseguir vender o edifício mais rápido, por este ter características que o diferenciam das restantes ofertas no mercado;
- conseguir ter retorno financeiro, incluindo o sobrecusto no preço de venda, podendo mesmo contribuir para aumentar a sua margem de lucro.

Do ponto de vista do comprador final, só valerá a pena adquirir um imóvel energeticamente mais eficiente se:

- Existir uma diminuição significativa da factura energética, que lhe permita um retorno financeiro do investimento inicial, num período de tempo que considere razoável;
- tiver a convicção que, em caso de venda ou arrendamento, o imóvel poderá ser colocado no mercado com um valor superior.

Considera-se pois que, para os utilizadores dos edifícios, a redução da factura energética deverá ser o aspecto mais importante no momento de decidir viver num edifício energeticamente eficiente. Portugal, apesar de registar um consumo de energia pelo sector residencial relativamente baixo quando comparado com outros países europeus, tem vindo a aumentar as percentagens desse consumo energético. Isto deve-se particularmente à proliferação dos equipamentos de climatização, nomeadamente de ar condicionados, que são origem de impactos sobre o consumo de electricidade e sobre o ambiente.

Torna-se por isso essencial a adopção de estratégias que visem contribuir para a redução das necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento do ar interior dos edifícios, que deverão permitir alcançar um aumento do conforto térmico no seu interior. Daí ser importante conhecer as necessidades energéticas para climatização associadas a cada solução de projecto e construtiva, de modo a se poder estabelecer uma comparação entre diferentes soluções, analisando o seu custo-benefício.

5. ANÁLISE DE PROPOSTAS DA MELHORIA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA - UM CASO DE ESTUDO

A abordagem ao processo da Construção Sustentável no sentido que o presente trabalho tem vindo a desenvolver, impõe que as diversas soluções apresentadas, com o objectivo de contribuir para o alcançar de uma melhoria na eficiência energética do parque habitacional possam ser avaliadas, de modo a comprovar a sua valia.

Neste sentido, é importante estabelecer uma análise que torne evidente a relação custo-benefício das soluções apontadas por forma a que, na fase do projecto e da construção, se possam fundamentadamente escolher quais as mais sustentáveis a aplicar para as diferentes situações em estudo.

A implementação de estratégias que permitam alcançar os pressupostos da construção sustentável, deve então ser feita, não apenas com base no potencial de poupança em termos energéticos de curto prazo, mas também tendo em consideração o período de retorno financeiro simples das soluções aplicadas, ou seja, o longo prazo.

De acordo com este princípio, neste capítulo proceder-se-á à caracterização de uma fracção autónoma de um edifício de habitação multifamiliar e analisar-se-ão diferentes propostas e o seu impacto no desempenho energético da habitação.

Neste sentido a selecção do objecto de estudo para análise deve recair sobre um espaço de habitação corrente, que tenha sido sujeito a processo de certificação energética e que pela sua localização e organização geométrica permita o estudo da introdução de melhorias, caso se venha a concluir serem benéficas para o alcançar do objectivo desta dissertação.

No processo de estudo deste caso recorrer-se-á a ferramentas informáticas de apoio ao cálculo. A ferramenta utilizada para análise e comparação das várias soluções passíveis de ser adoptadas é o *EnergyPlus*, por se tratar de um programa que permite a análise dinâmica dos factores a considerar e permite uma maior aproximação à realidade de utilização da habitação.

No final, será feita uma avaliação do custo de aplicação de cada uma das propostas e uma comparação com o benefício que se obterá com a melhoria do desempenho energético, procurando determinar a sustentabilidade de cada solução.

5.1 Apresentação do caso de estudo

5.1.1 Descrição do edifício e da fracção autónoma em estudo

O edifício que serve de base ao estudo é um edifício de habitação multifamiliar localizado na freguesia de Corroios, no concelho do Seixal, cujo projecto data de 2005 e a construção foi concluída

em 2007.

Trata-se de um edifício com uma área de implantação de projecto de 271,3 m², integrado numa banda de edifícios, sendo composto por seis pisos habitacionais e duas caves de estacionamento (Figura 5.1). A fachada principal do edifício está orientada a Sudeste. A cobertura é em terraço, o que facilita a aplicação de painéis solares ou de uma cobertura ajardinada, tendo também uma área encerrada de apoio, que pode ser utilizada para actividade dos condóminos.



Figura 5.1 – Fotografia da fachada principal do edifício em estudo

Cada piso habitacional é composto por dois fogos (esquerdo e direito), em que 11 dos fogos são de tipologia T3 e um de tipologia T2 (R/C esquerdo).

Os materiais de revestimento são predominantemente de cor branca, ainda que pontualmente existam elementos de cor cinzenta, como é o exemplo da pala horizontal da fachada.

A fracção autónoma considerada no estudo é o 3º direito, habitação de tipologia T3, sendo um dos quartos uma suite. A área útil total da fracção é de 110,89 m². A disposição geral da fracção e as áreas úteis correspondentes a cada dependência estão representados na Figura 5.2 e no Quadro 5.1, respectivamente.

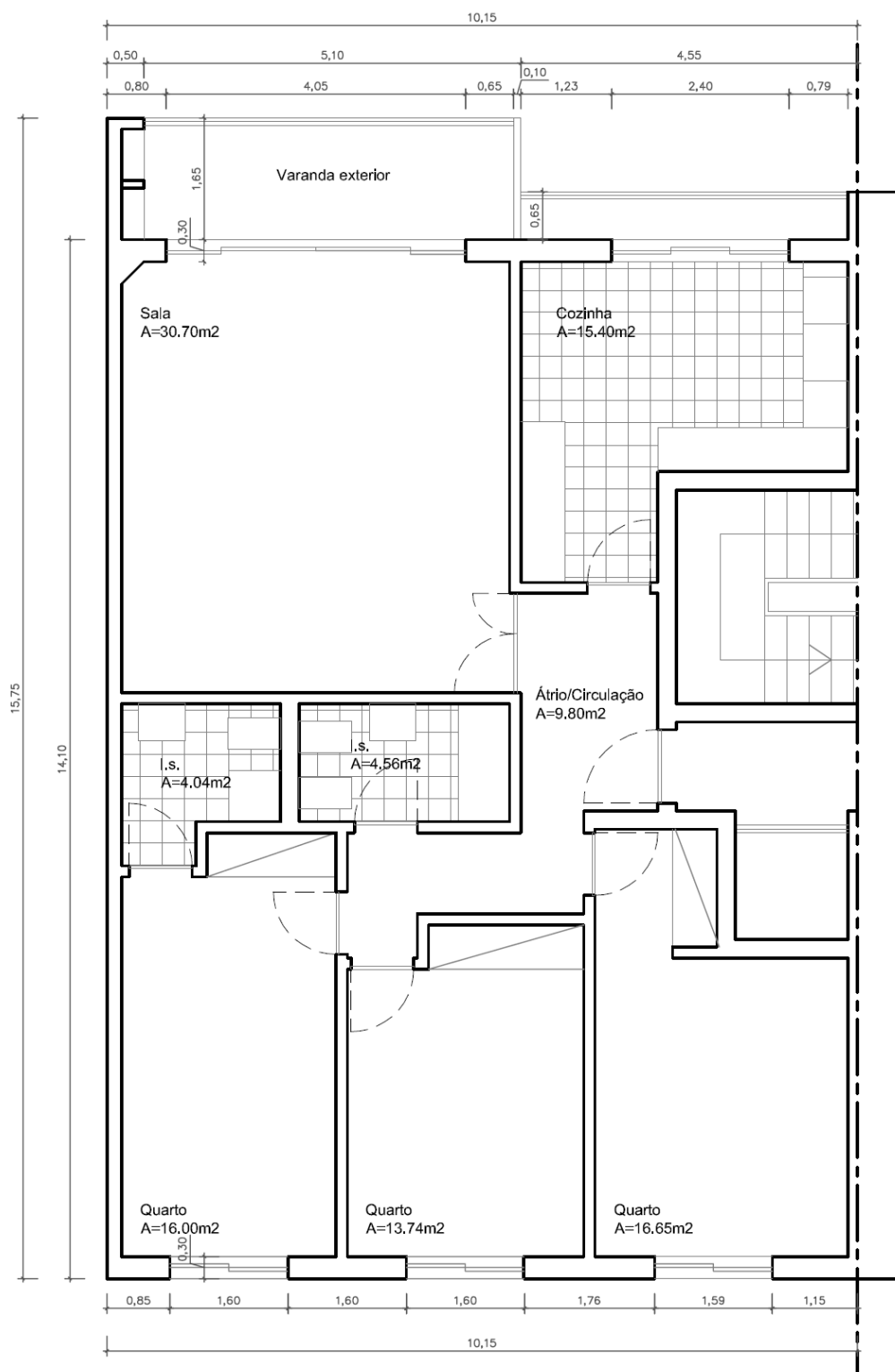


Figura 5.2 – Planta da fracção autónoma em estudo

Quadro 5.1 – Área útil das dependências da fracção autónoma em estudo

DEPENDÊNCIA	ÁREA ÚTIL (m ²)
Átrio/Circulação	9,80
Cozinha	15,40
Sala	30,70
Instalação Sanitária 1	4,04
Instalação Sanitária 2	4,56
Quarto 1	16,00
Quarto 2	13,74
Quarto 3	16,65

Segundo os pressupostos do RCCTE, o edifício encontra-se na zona climática I1-V2 Sul, situado numa zona urbana exposta e a uma distância da costa superior a 5km.

A fracção autónoma, que apresenta uma inércia térmica média, foi certificada pelo SCE em 2009.

Seguidamente apresenta-se na Figura 5.3, a etiqueta de desempenho energético e a desagregação das necessidades nominais de energia útil, constantes no Certificado de Desempenho Energético e da Qualidade do Ar Interior referente a esta habitação.

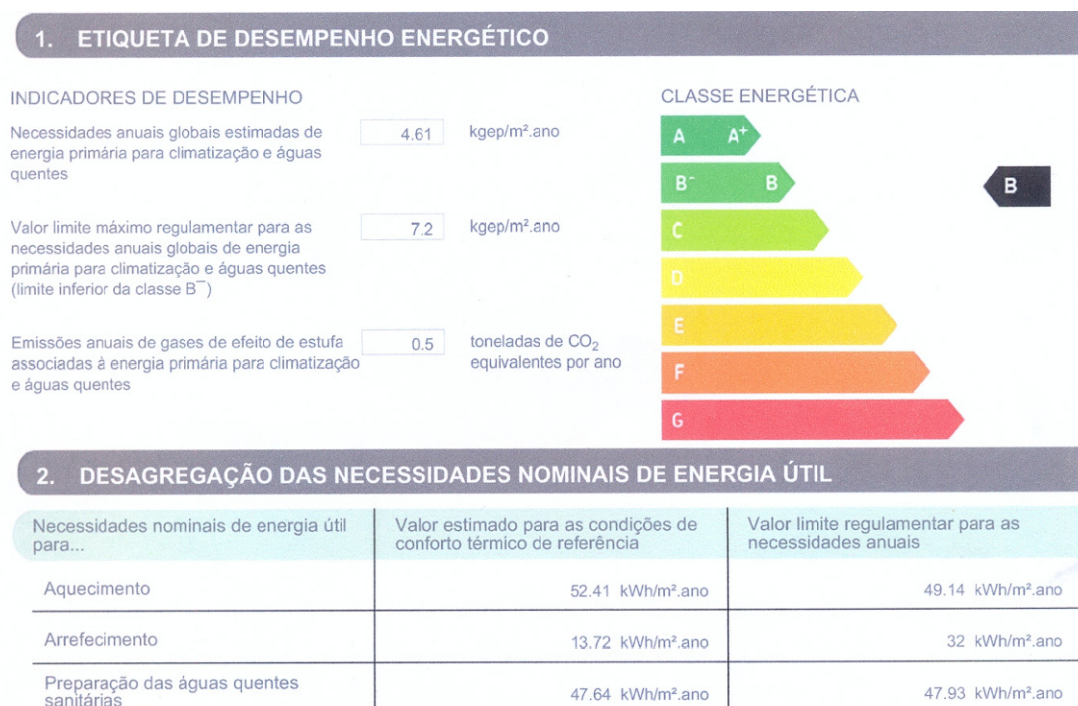


Figura 5.3 – Necessidades e classe de desempenho constantes no Certificado Energético da habitação

Como se pode reparar pela análise da figura, as necessidades de aquecimento são quase quatro vezes maior que as necessidades de arrefecimento. As necessidades anuais globais de energia primária para climatização e AQS correspondem a 64,03% do seu valor limite máximo regulamentar e, por isso, a fracção em estudo obteve a classificação energética B.

Em termos de ventilação, esta habitação encontra-se na região A, em zona de rugosidade II, a uma altura superior a 10 metros e não apresenta dispositivos de admissão de ar na fachada, pelo que não cumpre a norma NP1037-1.

Segundo o técnico que elaborou o processo de Certificação Energética, deve instalar-se um sistema de produção de AQS mais eficiente ou até ser estudada a solução para a instalação de colectores solares térmicos (que não eram obrigatórios à data do projecto deste edifício), de modo a otimizar as necessidades de energia para produção de AQS, podendo a fracção subir para uma classe energética A. Em termos da utilização dos equipamentos, aconselha-se a opção por electrodomésticos mais eficientes e o recurso a lâmpadas economizadoras.

A escolha desta fracção para servir de caso de estudo prende-se com o facto de ser uma habitação representativa do parque habitacional, quer em termos de tipologia, quer em termos de certificação energética.

É também importante trabalhar com uma habitação que não esteja otimizada energeticamente (não ser classificada como classe A ou A+), o que permite aplicar um maior número de soluções alternativas que produzam resultados significativos.

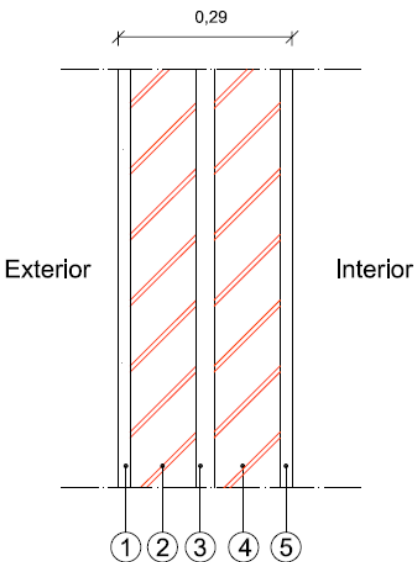
5.1.2 Sistema construtivo base

Segundo a ficha técnica da habitação, o edifício apresenta uma estrutura reticulada em betão armado, constituída por lajes maciças e suportada por vigas de coroamento e elementos verticais (pilares e paredes) que transmitem as cargas directamente às fundações. O terraço é composto por uma laje de esteira em betão armado, isolada na face superior com isolamento de XPS.

No que diz respeito à fracção autónoma em estudo, é importante conhecer as soluções construtivas da envolvente. O cálculo do coeficiente de transmissão térmica para cada solução construtiva é apresentado no Anexo I.

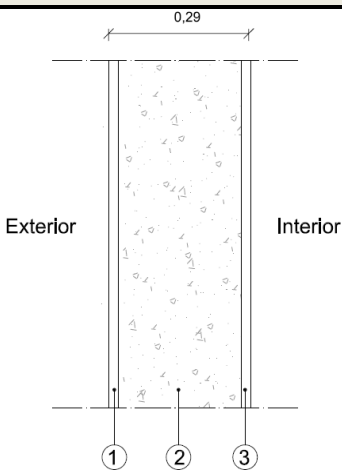
A envolvente opaca em zona corrente é uma parede dupla constituída por dois panos de tijolo furado com caixa-de-ar, revestida pelo exterior com reboco pintado a branco e pelo interior com estuque projectado pintado de cor clara. A descrição de cada elemento constituinte e respectivas espessuras, assim como o valor de U da envolvente são apresentados no Quadro 5.2.

Quadro 5.2 – Pormenor construtivo e características térmicas da envolvente opaca em zona corrente

ENVOLVENTE OPACA EM ZONA CORRENTE				
Esquema	Elemento	Descrição	Espessura (m)	U (W/m ² .°C)
	1	Reboco de argamassa	0,02	1,05
	2 e 4	Pano de alvenaria em tijolo cerâmico furado 30x20x11	0,11	
	3	Caixa-de-ar	0,03	
	5	Estuque projectado	0,02	

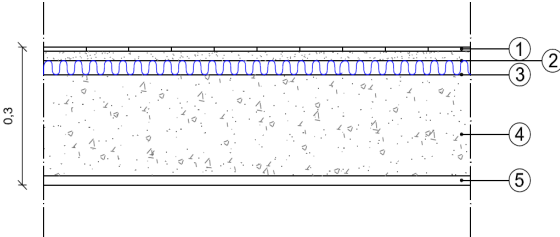
As pontes térmicas planas da envolvente opaca, quer em pilar ou viga, não apresentam qualquer tipo de correcção em termos de isolamento térmico, sendo a sua constituição e características térmicas apresentadas no Quadro 5.3.

Quadro 5.3 – Pormenor construtivo e características térmicas da envolvente opaca em ponte térmica plana

ENVOLVENTE OPACA EM PONTE TÉRMICA PLANA				
Esquema	Elemento	Descrição	Espessura (m)	U (W/m ² .°C)
	1	Reboco de argamassa	0,02	2,80
	2	Viga ou pilar em betão armado	0,25	
	3	Estuque projectado	0,02	

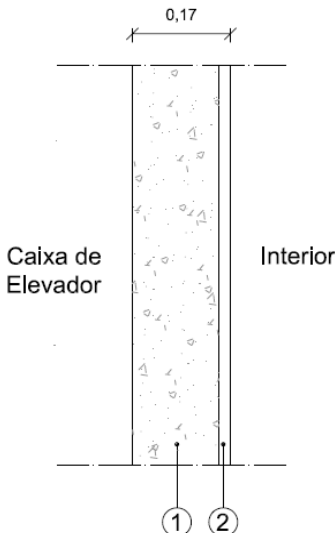
Em termos de envolvente horizontal, toda a área de pavimentos está isolada termicamente com uma placa de 3cm de XPS, que também permite o isolamento acústico, importante neste tipo de estruturas devido aos sons de percussão. O revestimento do pavimento varia consoante a dependência, sendo composto por ladrilho cerâmico em toda a habitação, com excepção dos quartos, que são em pavimento flutuante em madeira. As características do pavimento são apresentadas no Quadro 5.4.

Quadro 5.4 – Pormenor construtivo e características térmicas do pavimento

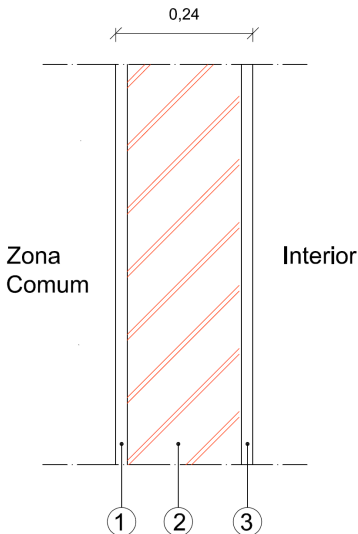
Pavimento				
Esquema	Elemento	Descrição	Espessura (m)	U (W/m ² .°C)
	1	Ladrilho Cerâmico	0,01	0,86 (ladrilho cerâmico)
		Pavimento flutuante em madeira	0,01	
	2	Betonilha de regularização	0,02	0,81 (pavimento flutuante em madeira)
	3	XPS	0,03	
	4	Laje em betão armado	0,22	
	5	Estuque projectado	0,02	

A envolvente em contacto com a caixa de elevador e zona comum do edifício apresenta uma solução diferente do resto da envolvente. Em ambas as situações não foi utilizado qualquer tipo de isolamento térmico. Nos Quadros 5.5 e 5.6 apresentam-se os esquemas e características respeitantes a estas envolventes.

Quadro 5.5- Pormenor construtivo e características térmicas da parede da caixa de elevador

PAREDE DA CAIXA DE ELEVADOR				
Esquema	Elemento	Descrição	Espessura (m)	U (W/m ² .°C)
	1	Parede de betão armado	0,15	3,43
	2	Estuque projectado	0,02	

Quadro 5.6 – Pormenor construtivo e características térmicas da parede em contacto com a zona comum

PAREDE EM CONTACTO COM A ZONA COMUM				
Esquema	Elemento	Descrição	Espessura (m)	U (W/m ² .°C)
	1	Reboco de argamassa	0,02	1,33
	2	Pano de alvenaria em tijolo cerâmico furado 30x20x20	0,20	
	3	Estuque projectado	0,02	

As paredes interiores de divisão entre as várias dependências da habitação são paredes simples de alvenaria de tijolo 30x20x11, com revestimento de estuque projectado em ambas as faces,

perfazendo uma espessura total de 15cm.

Relativamente aos vãos envidraçados, segundo a ficha técnica da habitação, estes possuem uma caixilharia em alumínio lacado na cor antracite, sem corte térmico, sem quadrícula, de correr e sem classificação quanto à permeabilidade ao ar. O envidraçado é constituído por um vidro duplo de baixa emissividade com 10mm de espessura de lâmina de ar. A protecção solar é feita pelo exterior, com estores de réguas plásticas de cor escura. O U desta solução foi considerado de $2,80 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$, segundo o Certificado de Desempenho Energético e da Qualidade do Ar Interior.

5.2 A Aplicação da ferramenta *EnergyPlus*

5.2.1 Criação do modelo base

O programa de simulação utilizado para análise deste caso de estudo foi o *EnergyPlus*, versão 5.0.0. Foram introduzidos diversos dados que caracterizam a fracção, a sua localização, envolvente e padrões de utilização, a partir dos quais foi possível ao programa simular e apresentar dados referentes ao desempenho energético da habitação. Os dados introduzidos e os dados resultantes da simulação foram definidos de acordo com a avaliação final pretendida. Na Figura 5.4 são apresentados, genericamente, os dados introduzidos e os resultados obtidos, considerados necessários para a estabelecer um modelo base para este trabalho.

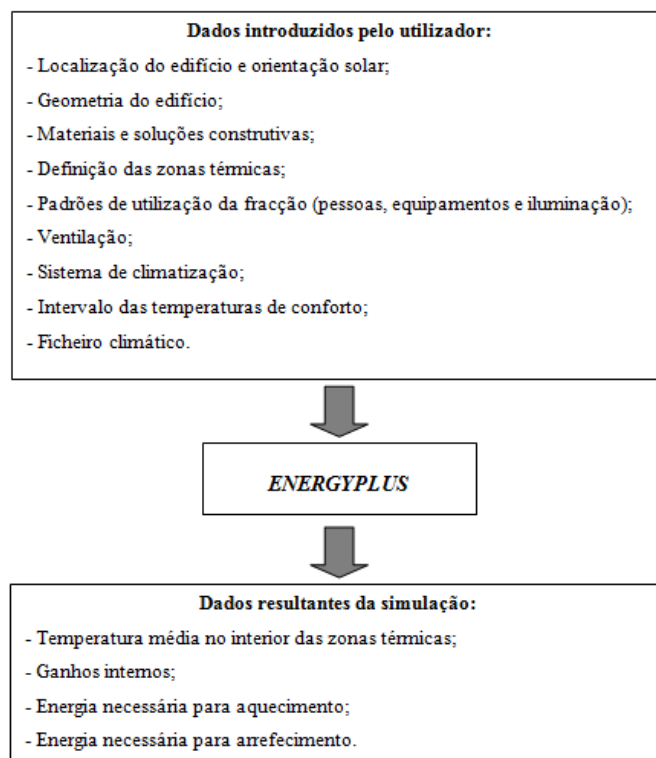


Figura 5.4 – Esquema geral do processo de simulação com o *EnergyPlus*

A introdução dos dados foi feita de forma repetitiva através de um interface designado por *IDF Editor*. Seguidamente será apresentada a metodologia de introdução dos dados relevantes para as simulações efectuadas.

Parâmetros de Simulação (*Simulation Parameters*)

Neste campo foram introduzidos os dados necessários para a definição do processo de simulação, cujos parâmetros estão identificados na Figura 5.5, retirada do interface do software.

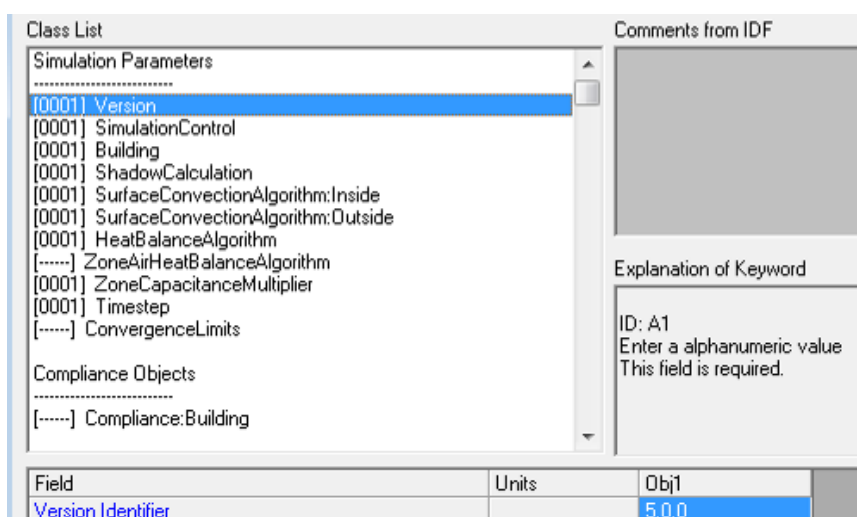


Figura 5.5 – Definição dos Parâmetros de Simulação no *EnergyPlus*

É neste campo que se insere:

- a versão do programa em uso - neste caso foi utilizada a versão 5.0.0;
- os dados para controlo da simulação - optou-se por simular apenas com base no ficheiro climático;
- alguns parâmetros relativos à edificação, como o ângulo do edifício em relação ao Norte (310°), o tipo de envolvente em que se insere (cidade), as tolerâncias de convergência de temperaturas e de cargas e a distribuição solar (considerou-se a opção que permite calcular a quantidade de radiação solar absorvida por cada superfície, exterior ou interior);
- o período correspondente ao movimento solar, para cálculo das sombras. Considerou-se o período de 20 dias, para não aumentar excessivamente o tempo da simulação;
- os algoritmos de convecção das superfícies (interior e exterior), escolhendo-se a opção que tem em conta a orientação solar da superfície e as temperaturas das várias superfícies (*Detailed*);
- o algoritmo de transferência de calor para a envolvente do edifício. Optou-se pelo algoritmo que para efeitos da simulação considera a ocorrência de fenómenos de transferência de calor por condução, desprezando o armazenamento de humidade nos elementos construtivos (*ConductionTransferFunction*) [58];

- o factor multiplicativo do volume de ar na zona térmica (1);
- o intervalo de tempo da simulação.

Localização e Clima (*Location and Climate*)

Este campo destina-se à introdução de dados referentes à localização do edifício e clima da zona em que se insere. Como se optou pela utilização de um ficheiro climático, torna-se desnecessário o preenchimento da maior parte dos parâmetros deste campo, na medida em que o programa sobrepõe os dados do ficheiro climático aos dados climáticos definidos pelo utilizador. Assim sendo, o único parâmetro que se preencheu neste campo foi o que se refere ao período de simulação (*RunPeriod*), onde se introduziu as datas de início e fim da simulação pretendida. Por se tratar de uma avaliação anual, considerou-se o período de 1 de Janeiro a 31 de Dezembro.

Horários (*Schedules*)

Neste campo definiram-se os *schedules* importantes para o funcionamento de outros campos do programa. Alguns dos *schedules* definidos estabelecem os padrões de utilização do edifício, do funcionamento dos equipamentos e iluminação e o intervalo das temperaturas de controlo para a climatização, de modo a simular um conjunto de condições que se aproxime da realidade.

Recorreu-se à utilização do comando *Schedule:Compact* (Figura 5.6) pois permite condensar todos os *schedules* num único comando, tornando mais fácil e rápida a sua introdução e consulta. Introduziu-se também, no comando *ScheduleTypeLimits*, os limites superior e inferior referentes às variáveis utilizadas na definição dos *schedules*, assim como as unidades das variáveis e se estas são discretas ou contínuas.

Class List		Comments from IDF					
Schedules							
[0004] ScheduleTypeLimits							
[.....] Schedule:Day:Hourly							
[.....] Schedule:Day:Interval							
[.....] Schedule:Day:List							
[.....] Schedule:Week:Daily							
[.....] Schedule:Week:Compact							
[.....] Schedule:Year							
[0015] Schedule:Compact							
[.....] Schedule:Constant							
[.....] Schedule:File							
Surface Construction Elements							
		Explanation of Keyword					
		Irregular object. Does not follow the usual definition for fields. Fields A3... are:					
		Through: Date					
		For: Applicable days (ref: Schedule:Week:Compact)					
		Interpolate: Yes/No (ref: Schedule:Day:Interval) -- optional, if not used will be "No"					
		Until: <Time> (ref: Schedule:Day:Interval)					
Field	Units	Obj8	Obj9	Obj10	Obj11	Obj12	Obj13
Name		Pessoas Sala	Equip Quartos	Equip Sala	Luzes Quartos	Luzes Sala	Estores Quartos
Schedule Type Limits Name		PERCENTAGEM	PERCENTAGEM	PERCENTAGEM	PERCENTAGEM	PERCENTAGEM	PERCENTAGEM
Field 1	varies	Through: 4/30	Through: 4/30	Through: 4/30	Through: 4/30	Through: 4/30	Through: 4/30
Field 2	varies	For: Weekdays	For: Weekdays	For: Weekdays	For: Weekdays	For: Weekdays	For: Weekdays
Field 3	varies	Until: 7:00	Until: 7:00	Until: 7:00	Until: 7:00	Until: 7:00	Until: 7:00
Field 4	varies	0	0	.03	0	0	1
Field 5	varies	Until: 12:00	Until: 12:00	Until: 12:00	Until: 12:00	Until: 12:00	Until: 12:00
Field 6	varies	0	.01	.04	.25	0	0
Field 7	varies	Until: 18:00	Until: 18:00	Until: 18:00	Until: 18:00	Until: 18:00	Until: 18:00
Field 8	varies	.25	.01	.04	0	.05	0
Field 9	varies	Until: 22:00	Until: 22:00	Until: 22:00	Until: 22:00	Until: 22:00	Until: 22:00
Field 10	varies	.75	.38	.16	.25	.25	0

Figura 5.6- Definição dos *Schedules* no *EnergyPlus*

A descrição dos *schedules* introduzidos neste trabalho será feita nos campos em que estes foram utilizados.

Elementos de Construção (*Surface Construction Elements*)

Neste campo definiram-se as várias soluções construtivas da envolvente exterior e interior da fracção autónoma em estudo (paredes, pavimentos e vãos envidraçados), como apresentadas no ponto 6.1.2.

No comando *Material* (Figura 5.7), são definidos os materiais constituintes da envolvente opaca, introduzindo-se as suas características mais relevantes para a simulação, como a rugosidade, a espessura do elemento, o calor específico, a densidade e a condutibilidade térmica. Os valores respeitantes a estas duas últimas características foram obtidos a partir do ITE 50 [75].

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4
Name		Tijolo (11cm)	Tijolo (20cm)	Betão (15cm)	Betão (25cm)
Roughness		Rough	Rough	MediumRough	MediumRough
Thickness	m	0,11	0,2	0,15	0,25
Conductivity	W/m-K	0,41	0,41	2	2
Density	kg/m3	1200	1200	2300	2300
Specific Heat	J/kg-K	837	837	880	880

Figura 5.7 – Definição dos materiais constituintes da envolvente no *EnergyPlus*

No comando *Material:AirGap* estabeleceu-se a utilização de uma caixa-de-ar para as paredes duplas, definindo-se a resistência térmica que confere à parede, de acordo com o definido no ITE 50 [75].

Ainda neste campo definiram-se os vários elementos constituintes dos vãos envidraçados como o tipo de vidro e respectivas propriedades (*WindowMaterial:Glazing*), cuja informação foi retirada da base de dados disponibilizada pelo programa, a espessura e gás da lâmina de ar relativa ao vidro duplo (*WindowMaterial:Gas*) e o sistema de sombreamento móvel (*WindowMaterial:Shade*), que para o caso em estudo foram estores.

Tendo como base os materiais e elementos introduzidos nos comandos anteriores, estabeleceram-se as soluções construtivas de toda a envolvente, exterior e interior, a partir do comando *Construction*.

Zonas Térmicas e Superfícies (*Thermal Zones and Surfaces*)

Neste campo definiram-se as zonas térmicas e a sua geometria, através da introdução de todas as superfícies da envolvente.

No comando *GlobalGeometryRules* considerou-se que o vértice de partida para definir a geometria de cada superfície é o canto inferior esquerdo e o sentido de introdução de vértices é o contrário ao sentido dos ponteiros do relógio. A visualização dos elementos para a definição das coordenadas dos seus vértices é feita do exterior para o interior.

No comando *Zone* define-se as várias zonas térmicas que o programa deve ter em conta para a simulação. Por zona térmica entende-se o conjunto de espaços que se encontram submetidos ao mesmo controlo térmico [58]. Para este caso de estudo consideraram-se duas zonas térmicas na fracção autónoma: uma das zonas correspondente ao conjunto dos quartos (“Zona Quartos”) e a outra correspondente à sala e cozinha (“Zona Sala”). Optou-se por esta solução uma vez que estes espaços têm padrões de utilização e exposições solares diferentes e, portanto, a sua avaliação em separado traduz melhor a realidade, em termos de necessidades energéticas, do que se fosse considerada apenas uma zona térmica correspondente a toda a fracção autónoma.

Após a definição dos parâmetros relativos às zonas térmicas, regras geométricas e soluções construtivas, efectuou-se a inserção dos elementos da envolvente opaca (*BuildingSurface:Detailed*) e dos vãos envidraçados (*FenestrationSurface:Detailed*).

Em *BuildingSurface:Detailed* (Figura 5.8) definem-se todos os elementos da envolvente opaca, a partir de quatro vértices, indicando o tipo de superfície (parede, pavimento ou tecto), a sua solução construtiva, a zona térmica em que está inserida e as condições adjacentes (interior, exterior, zona, adiabáticas).

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6
Name		Pavimento 1	Pavimento 2	Pavimento 3	Pavimento 4	Tecto 1	Tecto 2
Surface Type		Floor	Floor	Floor	Floor	Ceiling	Ceiling
Construction Name		Pavimento Quartos	Pavimento Casa	Pavimento Casa	Pavimento Casa	Tecto Quartos	Tecto Casa
Zone Name		Zona Quartos	Zona Quartos	ZONA Sala	ZONA Sala	Zona Quartos	Zona Quartos
Outside Boundary Condition		Adiabatic	Adiabatic	Adiabatic	Adiabatic	Adiabatic	Adiabatic
Outside Boundary Condition Object							
Sun Exposure		NoSun	NoSun	NoSun	NoSun	NoSun	NoSun
Wind Exposure		NoWind	NoWind	NoWind	NoWind	NoWind	NoWind
View Factor to Ground		1	1	1	1	0	0
Number of Vertices		4	4	4	4	4	4
Vertex 1 X-coordinate	m	0	0	0	0	0	0

Figura 5.8 - Definição da geometria dos elementos da envolvente opaca no *EnergyPlus*

Considerou-se que não existe fluxo térmico a passar pelos elementos em contacto com o edifício adjacente, a fracção autónoma adjacente e a zona de circulação comum (em conjunto com a caixa de elevador e caixa de escadas) e por isso essas superfícies foram definidas como adiabáticas. As paredes e pavimentos em contacto com o edifício e fracções adjacentes foram considerados

adiabáticos por se pressupor que as condições térmicas no seu interior são idênticas às da fracção autónoma em estudo, já que se parte do princípio que os habitantes fazem a mesma utilização dos equipamentos de climatização com o objectivo de atingir o conforto térmico. As paredes em contacto com a zona de circulação comum foram consideradas superfícies com características adiabáticas, como simplificação, por se pressupor que a temperatura média interior dessa zona se mantém próxima da das fracções autónomas visto estar localizada na parte central do edifício, apenas em contacto com o exterior através da cobertura do 6º piso e das paredes da fachada e porta de entrada no R/C.

No comando *FenestrationSurface:Detailed* inseriram-se os dados referentes aos vãos envidraçados. A introdução dos dados é feita da mesma forma que para as superfícies opacas, especificando-se ainda a superfície em que se insere, a caixilharia (*WindowProperty:FrameAndDivider*), o controlo do sombreamento móvel (*WindowProperty:ShadingControl*) e a existência de sombreamento fixo (*Shading:Zone:Detailed*).

Em termos de caixilharia, considerou-se a especificada no Ponto 6.1.2, em concordância com a ficha técnica da habitação.

Para controlo do sombreamento móvel (estores), considerou-se um padrão de utilização que tenta reflectir a sua forma de utilização tradicional e que é descrito no Anexo II.

Em relação ao sombreamento fixo, considerou-se apenas a varanda da fracção autónoma superior, como pala horizontal que afecta o maior vão envidraçado do caso de estudo.

Neste campo definiram-se ainda as áreas correspondentes às superfícies expostas das paredes interiores, que são aquelas que não foram definidas no comando *BuildingSurfaceDetailed*, mas que devem ser contabilizadas para a inércia térmica da fracção autónoma devido à sua massa.

Após a introdução de todos estes dados é possível pedir uma representação em 3D da fracção em estudo, em que estejam representadas todas as superfícies, como demonstrado na Figura 5.9.

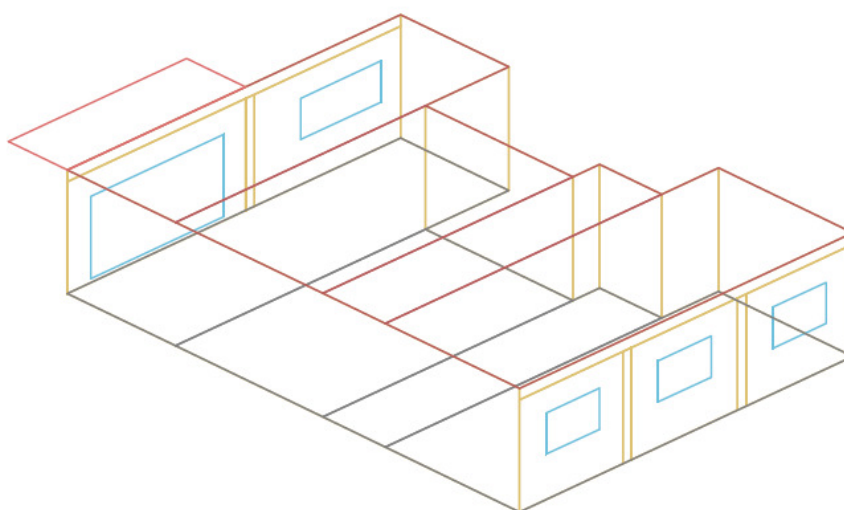


Figura 5.9 – Representação esquemática das superfícies da fracção em estudo, efectuada pelo *EnergyPlus*

Ganhos Internos (*Internal Gains*)

Para a determinação dos ganhos internos da fracção autónoma foram contabilizados, enquanto fontes energéticas, a ocupação humana (*People*), a utilização da iluminação (*Lights*) e a utilização de equipamentos eléctricos (*ElectricEquipment*), tal como apresentado na Figura 5.10.

The screenshot shows the 'Internal Gains' class list on the left, with 'People' selected. The right pane shows the 'Comments from IDF' and 'Explanation of Keyword' for 'People'. Below these is a table of parameters for 'People'.

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		Pessoas Sala	Pessoas Quartos
Zone Name		ZONA Sala	Zona Quartos
Number of People Schedule Name		Pessoas Sala	Pessoas Quartos
Number of People Calculation Method		People	People
Number of People		4	4
People per Zone Floor Area	person/m2		
Zone Floor Area per Person	m2/person		
Fraction Radiant		0,3	0,3
Sensible Heat Fraction		autocalculate	autocalculate
Activity Level Schedule Name		ACTIVIDADES Sala	ACTIVIDADES Quartos
Enable ASHRAE 55 Comfort Warnings		No	No
Mean Radiant Temperature Calculation Type		ZoneAveraged	ZoneAveraged
Surface Name/Area Factor List Name			

Figura 5.10 - Definição dos ganhos internos pela ocupação humana, no *EnergyPlus*

Para a determinação destes ganhos internos foi necessária a definição de padrões de utilização, introduzido no programa através de *schedules* e aplicados neste campo.

Os ganhos internos devido à ocupação humana são resultantes da actividade metabólica dos habitantes, em resultado dos diferentes tipos de actividades que podem desempenhar dentro de um edifício. Foi definido então um *schedule* que reflecte a presença dos habitantes na fracção (por se tratar de uma fracção de tipologia T3 consideraram-se 4 pessoas) e considerou-se um valor médio para as suas actividades metabólicas de 75W/pessoa para a “Zona Quartos” e de 100W/pessoa para a “Zona Sala”, tendo como base os valores de referência definidos pelo *EnergyPlus* para cada tipo de actividade [76].

Para o cálculo da parcela dos ganhos internos resultantes da iluminação contabilizou-se o total da potência de todas as lâmpadas das duas zonas consideradas, que corresponde a 250W para a “Zona Quartos” e de 750W para a “Zona Sala”. Com base nos padrões de ocupação da fracção, elaborou-se um padrão de utilização para a iluminação artificial que reflectisse, o mais aproximadamente possível, a realidade.

À semelhança do que foi feito com os ganhos internos para a iluminação, contabilizou-se o total de potência de todos os equipamentos eléctricos, definiu-se um tempo médio de utilização de cada equipamento por dia e, com base nos padrões de ocupação da fracção, elaborou-se um padrão de

utilização para este tipo de equipamentos. A potência considerada para os equipamentos eléctricos foi a potência média atribuída a cada equipamento pela Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos [77], tal como é referido no Anexo III. Foi considerada uma potência total de 1600W para a “Zona Quartos” e 20140W para a “Zona Sala”. A discrepância entre estes dois valores é muito acentuada essencialmente devido ao facto de os equipamentos de maior potência se encontrarem na cozinha.

Todos os padrões de utilização (pessoas, iluminação e equipamentos eléctricos) são elaborados para o ano inteiro, encontrando-se detalhados no Anexo IV.

Renovação do ar (*Zone Airflow*)

Em termos de ventilação, e como a fracção autónoma não cumpre a norma da ventilação natural, considerou-se o valor de 1h^{-1} renovações (constante todo o ano), estipulado na Certificação Energética.

AVAC - Controlo do aquecimento e arrefecimento (*Zone HVAC Controls and Thermostats*)

Com o objectivo de controlar a temperatura no interior da fracção autónoma, definiu-se um sistema de climatização fictício, para aquecimento e arrefecimento, que mantenha a temperatura interior dentro dum intervalo definido pelo utilizador.

Neste campo definiu-se o intervalo de temperaturas de conforto, tendo como temperatura mínima os 20°C e temperatura máxima os 25°C.

Definição do equipamento AVAC (*Zone HVAC Forced Air Units*)

Neste campo utilizou-se o comando *ZoneHVAC:IdealLoadsAirSystem* para definir os parâmetros correspondentes aos equipamentos utilizados para climatização. Para este caso de estudo considerou-se a utilização de um equipamento 100% eficiente, que não produza ganhos internos e que mantenha a temperatura dentro do intervalo pretendido. Neste comando definiram-se ainda as temperaturas e nível de humidade do ar fornecido para aquecimento e arrefecimento.

5.2.2 Aplicação das propostas de melhoria da eficiência energética

O objectivo final desta dissertação consiste em otimizar a eficiência energética de uma habitação multifamiliar, utilizando soluções sustentáveis que permitam uma poupança na factura energética.

Após a criação do modelo base deste estudo foi então avaliado um conjunto de soluções passíveis de melhorar a eficiência energética desta fracção autónoma.

Gonçalves e Graça (2004) apresentam um conjunto de medidas passivas sustentáveis a adoptar, que variam consoante as necessidades de aquecimento e arrefecimento de uma habitação e que têm em conta a zona climática em que se encontra o edifício em estudo, que neste caso é a zona

I1-V2 (segundo o RCCTE). No Quadro 5.7 estão resumidas algumas das soluções passivas que podem ser aplicadas [65]:

Quadro 5.7 – Algumas soluções passivas para a melhoria da eficiência energética de uma habitação situada na zona I1-V2 (Adaptado de [65])

REDUÇÃO DE NECESSIDADES	OBJECTIVOS	SOLUÇÕES PASSIVAS
Aquecimento	Promover ganhos solares	Orientação solar adequada
		Parede de Trombe
	Controlar as perdas por condução	Isolamento térmico com correcção das pontes térmicas
		Vãos envidraçados mais eficientes
	Promover uma inércia térmica forte	Paredes pesadas com isolamento pelo exterior
Arrefecimento	Restringir ganhos solares	Sombreamentos eficazes
		Orientação solar adequada
	Controlar ganhos por condução	Isolar a envolvente
		Vãos envidraçados mais eficientes
	Promover a ventilação	Ventilação natural (nocturna)

Aliadas a estas soluções passivas existem, como já referido no ponto 5.2, soluções activas que influenciam positivamente o desempenho energético de um edifício, como sejam a instalação de colectores solares térmicos, dispositivos de micro-geração e a utilização de equipamentos eléctricos e iluminação mais eficientes.

Apesar de existir uma grande variedade de soluções disponíveis para promover a eficiência energética da habitação, nesta dissertação são apenas abordadas algumas dessas estratégias.

Dentro das soluções passivas, são adoptadas soluções que contemplam o aumento do

isolamento térmico da envolvente, quer no interior de uma parede dupla, ou pelo exterior dos elementos (ETICS) e a utilização de envidraçados e caixilhos mais eficientes. A orientação solar do edifício, a utilização de sombreamentos mais eficazes e o efeito da ventilação natural são outras das estratégias passivas estudadas.

Dentro das soluções passivas referidas no Quadro 5.7, a única que não é objecto de estudo neste trabalho é a aplicação da parede de Trombe para suprimir as necessidades de aquecimento, uma vez que este tipo de estratégia é pouco viável no quadro da construção de edifícios de habitação multifamiliar em Portugal.

Relativamente às soluções activas, a única que é abordada neste caso de estudo é a utilização de equipamentos eléctricos e iluminação mais eficientes. As soluções de micro-geração não são estudadas dado que não é objectivo deste trabalho avaliar formas de geração energética para suprimir as necessidades de consumo, mas apenas controlar essas necessidades. A utilização de colectores solares térmicos também não é contemplada, uma vez que esta não afecta as necessidades energéticas para climatização, influenciando apenas a energia dispendida para aquecimento de AQS.

Seguidamente é feita uma descrição de cada uma das soluções passivas e activa adoptadas. A introdução destas novas soluções no software de simulação é feita por alteração dos pressupostos anteriormente criados para o modelo base.

Aplicação de isolamento térmico na envolvente exterior opaca

A aplicação deste tipo de soluções é importante para reduzir o fluxo térmico por condução através da envolvente opaca, o que poderá evitar as perdas de calor na estação de aquecimento e diminuir os ganhos excessivos na estação de arrefecimento. O isolamento térmico é também importante para a inércia térmica, quando aplicado pelo exterior dos elementos. Neste contexto, decidiu-se aplicar diferentes soluções de colocação de isolamento térmico na envolvente opaca, a nível da sua utilização no interior de paredes duplas ou pelo exterior dos elementos (ETICS).

Considerou-se a utilização de paredes duplas com isolamento no interior da caixa-de-ar por ser a solução mais tradicional ao nível da construção de edifícios e por ser uma optimização directa da solução adoptada no modelo base. Assim sendo, estudou-se a utilização de várias espessuras de isolamento, de modo a conhecer a sua influência no desempenho energético da fracção autónoma, de acordo com o Quadro 5.8:

Quadro 5.8 – Coeficientes de transmissão térmica das soluções de parede dupla utilizados no caso de estudo

SOLUÇÃO	U (W/m ² .°C)
Parede dupla com caixa-de-ar de 3cm (solução base)	1,05
Parede dupla com 3cm de isolamento térmico (EPS)	0,66
Parede dupla com 4cm de isolamento térmico (EPS)	0,56
Parede dupla com 6cm de isolamento térmico (EPS)	0,44

Considerou-se também a utilização de ETICS, uma vez que é considerada a solução modelo em termos de posicionamento do isolamento térmico nos elementos. A utilização de ETICS é também importante pela correcção das pontes térmicas planas. Por estes motivos, estudou-se a sua aplicação, de modo a saber quais as vantagens do ponto de vista do desempenho energético, neste tipo de habitação. A solução de ETICS estudada difere da solução base na medida em que foi considerado como suporte a aplicação de uma parede de tijolo simples em conjunto com as pontes térmicas de betão já existentes. Como o desempenho energético pode ser influenciado pela espessura do isolamento considerado foram estudadas várias espessuras, tal como descrito no Quadro 5.9:

Quadro 5.9 - Coeficientes de transmissão térmica das soluções de ETICS utilizados no caso de estudo

SOLUÇÃO	U em zona corrente (W/m ² .°C)	U em ponte térmica plana (W/m ² .°C)
ETICS com 3cm de EPS	0,57	0,76
ETICS com 4cm de EPS	0,50	0,64
ETICS com 6cm de EPS	0,40	0,48

Vãos envidraçados mais eficientes

Neste ponto, considerou-se a utilização de um sistema de envidraçados mais eficiente, apostando na introdução de um gás inerte no interior da lâmina de ar do vidro duplo e na utilização de caixilhos em PVC, por oposição aos caixilhos de alumínio lacado sem corte térmico constituintes da solução base.

Com esta solução espera-se reduzir as perdas de calor pelos vãos envidraçados, reduzindo especialmente as necessidades de aquecimento.

Orientação solar do edifício

O edifício em estudo está orientado a Sudeste, o que do ponto de vista teórico não é o mais

vantajoso em termos de ganhos solares, uma vez que contempla um excesso de ganhos desnecessários na estação de arrefecimento. Com vista à melhoria do desempenho energético desta fracção estudaram-se duas orientações: fachada principal a Sul (maior área de envidraçados orientada a Norte) e fachada principal a Norte (maior área de envidraçados orientada a Sul).

De acordo com a bibliografia, a orientação preferencial dos edifícios deve ser a Sul, pelo que se estudou as duas orientações que permitem que uma das fachadas esteja orientada nesta direcção.

Sombreamentos fixos

De modo a reduzir os ganhos desnecessários pelos envidraçados, considerou-se ainda a utilização de uma pala horizontal com 0,5m de desenvolvimento perpendicular à parede, nas janelas da fachada orientada a Sudeste (“Zona Quartos”).

Ventilação natural (nocturna)

Com o objectivo de reduzir as temperaturas interiores e, consequentemente, as necessidades de arrefecimento, durante o Verão, considerou-se um padrão comportamental que permita o aumento da ventilação natural durante a noite, nesta estação. O valor considerado para esse efeito foi de 1,4 renovações por hora, de modo a que o valor seja superior ao valor unitário da solução base sem que no entanto cause desconforto para os utilizadores devido à ocorrência de correntes de ar.

Para equilibrar este aumento de ventilação durante a noite considerou-se que durante o dia haveria apenas 0,66 renovações por hora, permitindo assim que a média diária continue a ser de 1 renovação por hora. O período considerado para a utilização destes valores de ventilação natural foi os meses de Junho a Setembro.

Equipamentos e iluminação mais eficientes

Neste ponto, considerou-se a utilização de equipamentos eléctricos e dispositivos de iluminação de potências inferiores às utilizadas na solução base.

Em termos de equipamentos eléctricos, tal como demonstrado no Anexo III, apenas se alterou a utilização dos equipamentos da “Zona Sala”, que passaram a ter uma potência total de 15180W, o que corresponde a uma redução de cerca de 25%, em relação à solução base.

Em termos de iluminação, considerou-se a utilização de dispositivos com metade da potência considerada na solução base.

6. ANÁLISE DE RESULTADOS

Depois de criado o modelo base do caso de estudo e de aplicadas diferentes propostas com vista a melhorar o desempenho energético no que diz respeito às necessidades energéticas para a climatização, são seguidamente apresentados e analisados os resultados obtidos.

Primeiramente avalia-se o desempenho energético do modelo base, com principal enfoque no estudo das temperaturas interiores, dos ganhos internos e enfatizando as necessidades energéticas para climatização ao longo do ano.

Os resultados obtidos a partir desta simulação servem de base de comparação para a análise das várias propostas de melhoria aplicadas neste caso de estudo, procurando determinar-se a sua sustentabilidade do ponto de vista energético e económico.

6.1 Desempenho energético do modelo base

O modelo base criado serviu como padrão de comparação a partir do qual são aplicadas as propostas de melhoria. Como dito anteriormente, a fracção autónoma estudada foi dividida em duas zonas térmicas, com o intuito de representar melhor a situação real, dado que estas apresentam características de utilização e de exposição solar distintas, o que influencia o seu comportamento térmico.

Na Figura 6.1 são apresentados os resultados referentes às temperaturas médias mensais interiores e exterior, ao longo do ano. É possível verificar que a média da temperatura exterior é sempre inferior à média da temperatura interior e que temperatura média interior da “Zona Sala” é sempre superior à temperatura média interior da “Zona Quartos”. A temperatura interna média ao longo do ano varia entre os 17°C e os 31°C, estando apenas no intervalo que se considerou para o conforto térmico nos meses de Abril, Maio e Outubro.

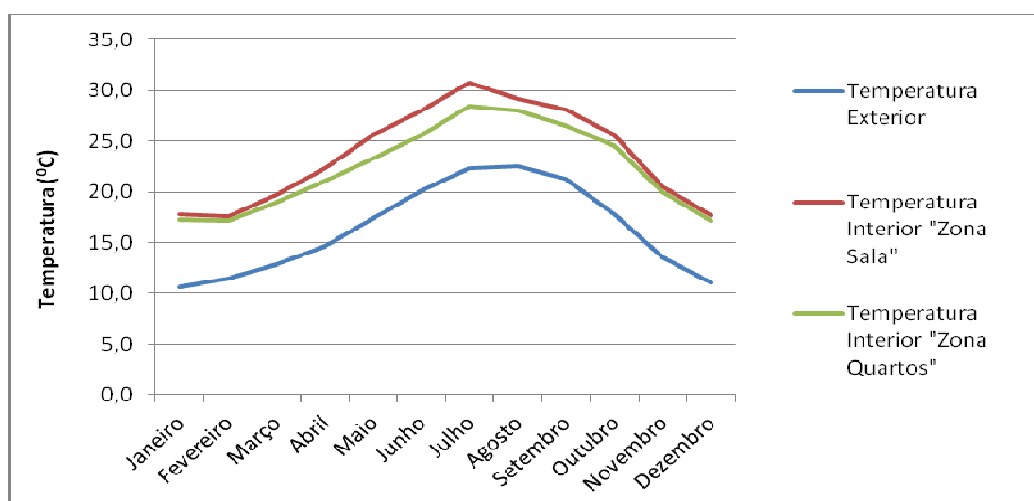


Figura 6.1 – Temperaturas médias mensais, interiores e exterior, obtidas através da simulação

Por se verificar que a temperatura média interior se encontra fora do intervalo de conforto térmico estipulado, é importante conhecer quais as necessidades energéticas para a climatização.

No Quadro 6.1 encontram-se detalhadas as necessidades energéticas para aquecimento e arrefecimento, em cada uma das zonas estudadas e em toda a fracção autónoma.

Quadro 6.1 – Necessidades energéticas para climatização da solução base

NECESSIDADES (kWh)	“Zona Quartos”	“Zona Sala”	Fracção Autónoma
Aquecimento	880,6	795,8	1676,4
Arrefecimento	617,8	1876,5	2494,3
Globais	1498,4	2672,3	4170,7

Pela observação do quadro é possível perceber que existe uma maior necessidade de aquecimento na “Zona Quartos” do que na “Zona Sala” e que essa tendência se inverte na estação de arrefecimento. Em termos de necessidades globais de climatização para toda a fracção autónoma, verifica-se que predominam as necessidades para arrefecimento, em grande parte devido ao valor das necessidades de arrefecimento na “Zona Sala”.

É possível comparar os resultados obtidos nesta simulação com os valores das necessidades nominais de climatização constantes na Certificação Energética da habitação. Para isso é necessário dividir os valores obtidos para as necessidades globais pela área útil de pavimento da fracção autónoma ($110,89 \text{ m}^2$).

A Figura 6.2 apresenta os valores das necessidades de climatização obtidos através do *EnergyPlus* e constantes na Certificação Energética (RCCTE).

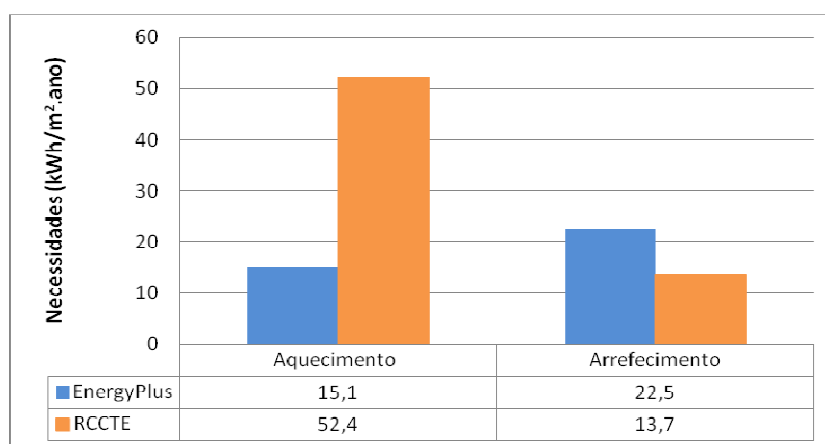


Figura 6.2 – Comparação das necessidades de climatização da solução base (*EnergyPlus* vs RCCTE)

Os resultados obtidos na simulação são superiores aos do RCCTE para a estação de arrefecimento e muito inferiores para a estação de aquecimento. A disparidade de valores, principalmente na estação de aquecimento, é em parte justificada pela diferente abordagem aos ganhos internos feita pelos dois métodos. O RCCTE prevê um valor de 4W/m^2 para o total dos ganhos internos ao longo do ano, o que, segundo as suas fichas de cálculo, corresponde a 3833 kWh/ano. Este resultado contrasta com o valor de 11139 kWh/ano, obtido através do *EnergyPlus*. Esta grande disparidade relaciona-se com o facto de o *EnergyPlus* calcular os ganhos internos com base nos padrões de ocupação e utilização da fracção autónoma.

A sobrevalorização dos ganhos internos no *EnergyPlus* em relação ao RCCTE conduz a um sobreaquecimento das zonas térmicas, que se traduz no aumento das necessidades de arrefecimento e na diminuição das necessidades de aquecimento verificadas.

Quando comparados os ganhos internos em cada uma das zonas em estudo (Figura 6.3), dividido pelo tipo de origem (iluminação, equipamentos e pessoas), é possível observar que a maior contribuição é feita pela utilização dos equipamentos na “Zona Sala”, com 70% do total dos ganhos internos.

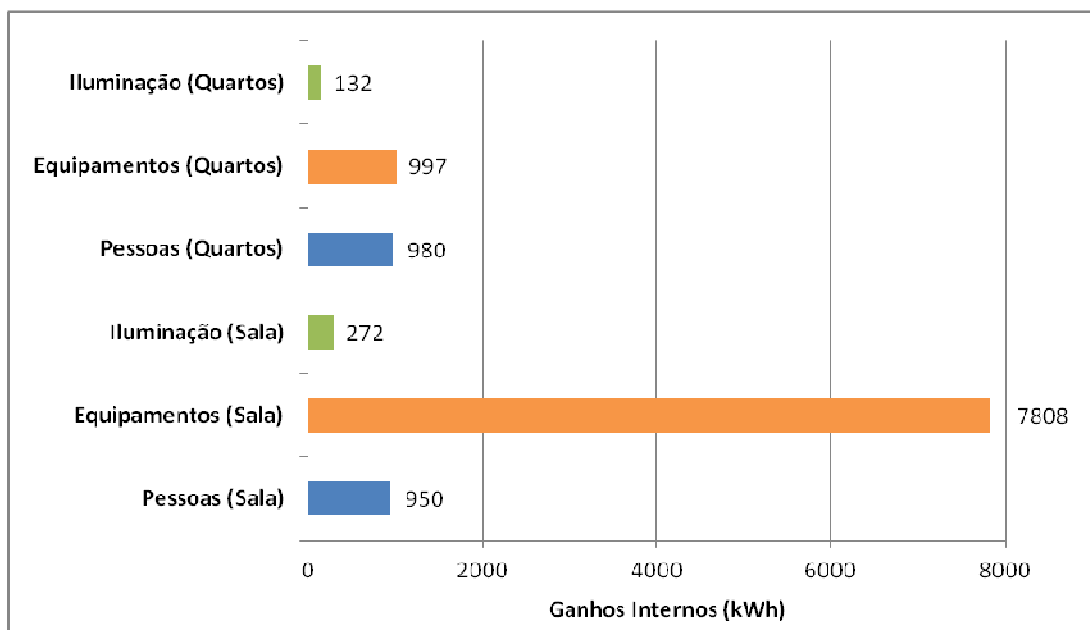


Figura 6.3 – Contribuição das zonas térmicas para os ganhos internos da fracção, por origem (iluminação, equipamentos e pessoas)

Do ponto de vista global, verificam-se mais necessidades de arrefecimento (2494,3 kWh) do que de aquecimento (1676,4 kWh), nesta fracção autónoma.

6.2 Desempenho energético após a aplicação das propostas de melhoria de eficiência energética

Para alcançar um melhor desempenho energético em termos de climatização torna-se vantajoso estudar soluções que promovam a redução das necessidades energéticas de arrefecimento e/ou de aquecimento.

Tal como referido no ponto 5.2.2, estudou-se o comportamento térmico da fracção associado a uma série de propostas de melhoria, avaliando-se as necessidades para a climatização e comparando-as com a solução base.

Aplicação de isolamento térmico na envolvente exterior opaca

Estudou-se a aplicação de paredes duplas com isolamento térmico no interior da caixa-de-ar e paredes simples com ETICS, tendo sido utilizadas várias espessuras de isolamento térmico para cada um dos casos (3, 4 e 6cm).

Na Figura 6.4 são apresentados os resultados relativos à influência da aplicação de isolamento térmico no interior da parede dupla, para cada um dos períodos de climatização (aquecimento e arrefecimento):

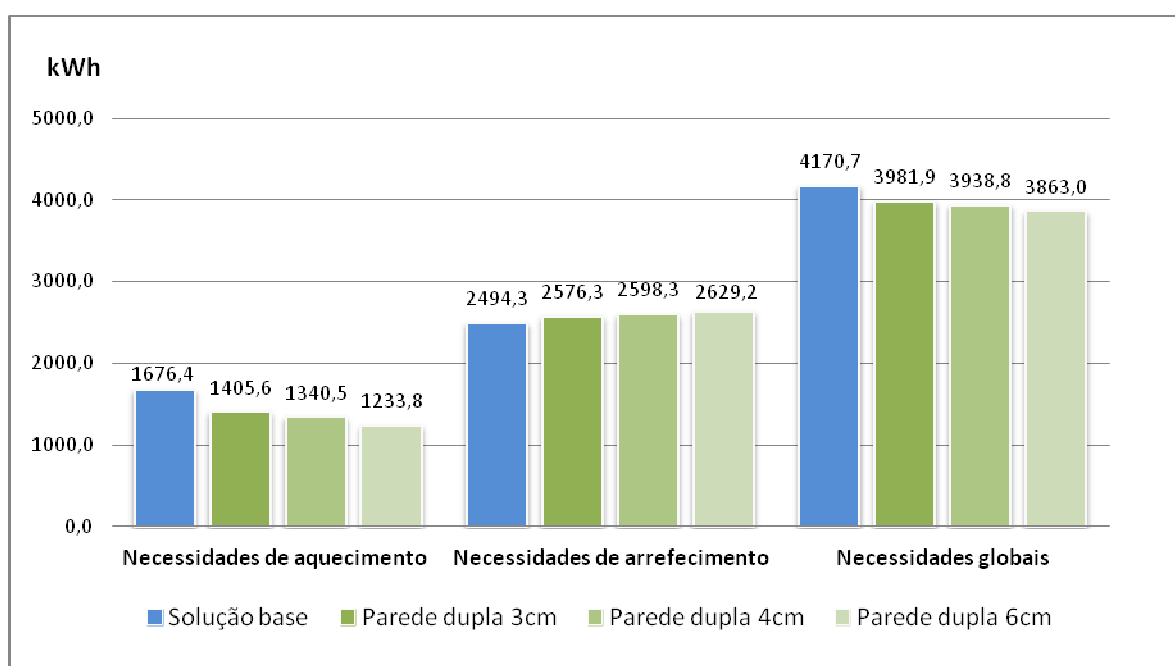


Figura 6.4 – Necessidades energéticas com a aplicação de paredes duplas com isolamento térmico no interior

Pela observação dos resultados é possível afirmar que a aplicação de isolamentos térmico no interior das paredes duplas permite diminuir as necessidades energéticas de aquecimento, apesar de também contribuir para um aumento das necessidades de arrefecimento. Este comportamento é tanto

mais visível quanto maior a espessura do isolamento.

A aplicação desta solução está associado a uma redução do fluxo térmico por condução. Neste caso de estudo verificou-se uma redução das perdas energéticas que potenciou a diminuição das necessidades de aquecimento, assim como um aumento das necessidades de arrefecimento.

Ainda que as necessidades de arrefecimento sejam agravadas, globalmente verificou-se uma optimização em termos das necessidades totais de climatização. Para a solução com 3cm de isolamento térmico registou-se uma melhoria de 4,5% (188,8kWh), a solução com 4cm de isolamento permitiu um ganho de 5,6% (231,9kWh) e a solução com 6cm de isolamento registou uma melhoria de 7,4% (307,7kWh).

Na Figura 6.5 são apresentados os resultados relativos à aplicação de uma parede de alvenaria simples com ETICS, ao invés da solução de parede dupla sem isolamento térmico, para cada um dos períodos de climatização (aquecimento e arrefecimento):

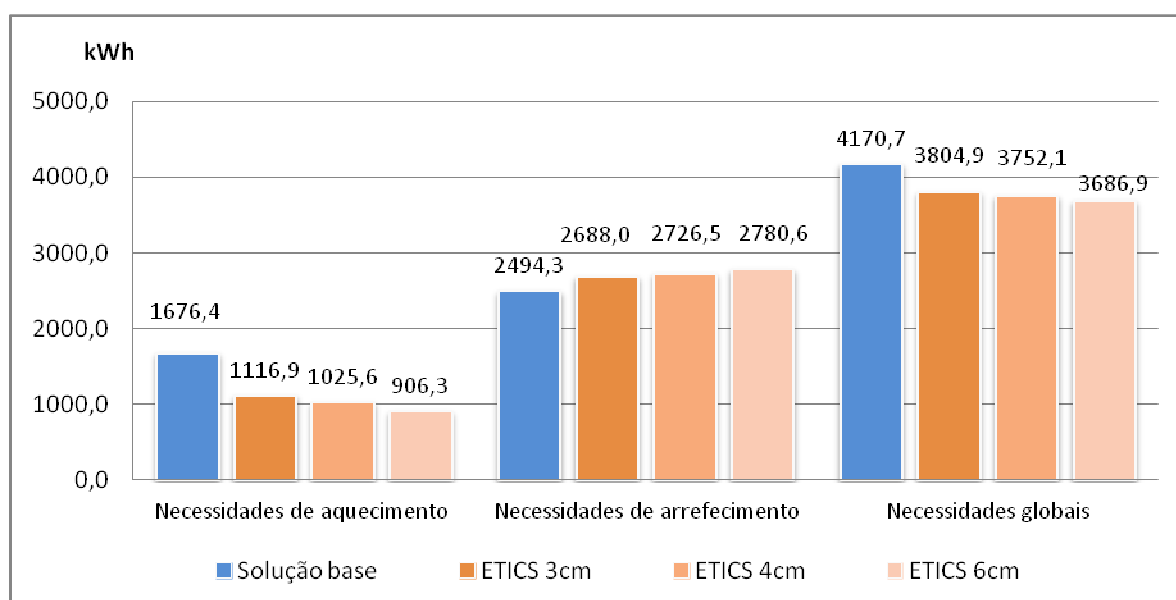


Figura 6.5 - Necessidades energéticas com a aplicação de ETICS

A aplicação de ETICS permite genericamente obter o mesmo padrão de optimização que o obtido com a utilização de paredes duplas com isolamento térmico, sendo contudo as diferenças de necessidades mais acentuadas do que no caso anterior.

Além das características conferidas pela solução anterior, neste caso há também uma contribuição para o efeito de inércia térmica. Este fenómeno permite reduzir ainda mais as necessidades de aquecimento.

Globalmente, esta solução permite uma optimização em termos das necessidades totais de climatização: registou-se uma melhoria de 8,8% (365,8kWh) para a solução com 3cm de isolamento, 10,0% (418,6kWh) na solução com 4cm de isolamento e 11,6% (483,8kWh) para a solução com 6cm de isolamento.

Vãos envidraçados mais eficientes

O tipo de envidraçado aplicado neste estudo (vidro duplo incolor com caixa-de-ar preenchida com gás inerte e caixilharia de PVC) permite controlar alguns dos ganhos solares desnecessários e reduzir as perdas de calor através da caixilharia e do próprio envidraçado. Com a simulação verificaram-se necessidades de aquecimento de 1548,4kWh e necessidades de arrefecimento de 2565,5kWh. Constatou-se que houve uma melhoria em termos de aquecimento mas esta solução foi prejudicial às necessidades de arrefecimento, uma vez que se reduziram as perdas de calor do interior. Do ponto de vista das necessidades globais registou-se uma melhoria de 1,4% (56,8kWh).

Orientação solar do edifício

Considerou-se estudar esta solução enquanto proposta de melhoria para conhecer o impacto que diferentes orientações solares têm em termos de necessidades de climatização, apesar de esta ser uma solução de difícil aplicação, uma vez que a sua decisão é tomada na fase de loteamento e de planeamento urbano, prévias ao projecto de construção.

Nos Quadros 7.2 e 7.3 estão representados os resultados referentes às necessidades energéticas para climatização de cada zona térmica estudada e do total da fracção autónoma, consoante a orientação solar da fachada principal a Norte e a Sul, respectivamente.

Quadro 6.2 - Necessidades energéticas para climatização da fracção autónoma, com orientação a Norte

NECESSIDADES (kWh)	“Zona Quartos”	“Zona Sala”	Fracção Autónoma
Aquecimento	1687,9	23,8	1711,7
Arrefecimento	191,5	2264,3	2455,8
Globais	1879,4	2288,1	4167,5

Quadro 6.3 - Necessidades energéticas para climatização da fracção autónoma, com orientação a Sul

NECESSIDADES (kWh)	“Zona Quartos”	“Zona Sala”	Fracção Autónoma
Aquecimento	665,4	837,3	1502,7
Arrefecimento	441,8	1429,1	1870,9
Globais	1107,2	2266,4	3373,6

Dos resultados apresentados, destaca-se o facto de a orientação a Norte não permitir melhorar as necessidades energéticas da fracção autónoma. Ainda que se reduza as necessidades de arrefecimento na “Zona Quartos” e as necessidades de aquecimento na “Zona Sala”, houve um aumento de quase 100% nas necessidades de aquecimento da “Zona Quartos”, derivado da sua fachada estar orientada a Norte e, por isso, contar com muito poucos ganhos solares.

Já a orientação solar a Sul apresentou uma melhoria significativa do desempenho energético, como seria de esperar de acordo com a bibliografia consultada. A aplicação desta solução resultou uma melhoria de 19,1% (797,1kWh). Esta melhoria ocorre devido à redução dos ganhos solares desnecessários e ao facto de a fachada da “Zona Sala” estar orientada a Norte, reduzindo assim as necessidades de arrefecimento nessa zona, que já eram elevadas devido aos ganhos internos.

Sombreamentos fixos

A colocação de uma pala horizontal que promova o sombreamento das janelas da fachada principal permitiu a redução das necessidades energéticas globais em 1,2% (51,0kWh), o que é conseguido essencialmente porque se regista uma diminuição nas necessidades de arrefecimento na “Zona Quartos”, derivado da redução dos ganhos solares desnecessários pelos envidraçados.

Ventilação natural (nocturna)

Esta proposta de melhoria é essencialmente comportamental na medida em que não depende de elementos ou equipamentos instalados, mas sim do comportamento dos habitantes em termos de abertura de janelas, para permitir maiores caudais de ventilação, durante a noite, com vista a aproveitar a temperatura exterior reduzida para diminuir a temperatura interior.

A aplicação do padrão comportamental considerado fez reduzir as necessidades de arrefecimento, resultando numa melhoria em termos de necessidades globais de 8,4% (349,3kWh).

Equipamentos e iluminação mais eficientes

A aplicação dos pressupostos desta proposta reduziu os ganhos internos da fracção autónoma, em especial da “Zona Sala”, alterando a dinâmica de aquecimento/arrefecimento, uma vez que aumenta as necessidades de aquecimento e reduz, quase proporcionalmente, as necessidades de arrefecimento.

Globalmente, as necessidades de climatização mantêm-se na mesma ordem de grandeza da solução base (4158,2kWh), o que representa uma melhoria de apenas 0,3% (12,5kWh). A avaliação desta solução é muito importante pois, ainda que não apresente melhorias significativas em termos de necessidades de climatização, a utilização de equipamentos e iluminação mais eficientes apresenta um grande potencial de poupança ao nível da factura energética, devido à redução de energia consumida na sua utilização.

6.3 Análise custo-benefício das soluções

A viabilidade financeira das melhorias que potenciem a eficiência energética dos edifícios irá ser determinante para a sua escolha e aplicação. Contudo, as análises custo-benefício das soluções a adoptar são difíceis de realizar, na medida em que existem diversos factores, importantes para a noção de sustentabilidade na construção, que não são facilmente quantificáveis. A avaliação de aspectos como o nível de emissões de GEE, a melhoria da qualidade de vida e o impacte da utilização dos edifícios na poupança de recursos naturais exige um estudo aprofundado, dependente de análises complexas, que não são o objecto de estudo desta dissertação. Por este motivo, torna-se difícil proceder a uma análise custo-benefício neste campo, sendo apenas possível a realização do cálculo de um período de retorno do investimento da aplicação das soluções consideradas.

Neste ponto é feita uma avaliação de viabilidade financeira, tendo de um lado a poupança da factura energética e do outro o custo da aplicação inicial de cada uma das medidas de melhoria estudadas anteriormente.

Para conhecer o valor da poupança na factura energética é necessário conhecer o preço da energia (em euros) pago à empresa distribuidora, que é de 0,159€/kWh (preço com IVA a 23%).

No Quadro 6.4 apresenta-se um estudo de viabilidade financeira, em que se calcula o período de retorno simples para as propostas de melhoria em que essa análise é aplicável. Para obter o valor global dos custos é contabilizado apenas o acréscimo de custo em relação à solução base. Os cálculos relativos aos custos de produção das diferentes soluções de melhoria da eficiência energética encontram-se detalhados no Anexo V.

Quadro 6.4 – Viabilidade financeira da aplicação das diferentes propostas de melhoria estudadas

PROPOSTAS DE MELHORIA APLICADAS	POUPANÇA DAS NECESSIDADES GLOBAIS (kWh.ano)	POUPANÇA NA FACTURA ENERGÉTICA (Euros/ano)	ACRÉSCIMO NO CUSTO DE PRODUÇÃO (Euros)	PERÍODO DE RETORNO FINANCEIRO (Anos)
Aplicação de isolamento térmico no interior de paredes duplas	3cm - 188,8	30,02	360,13	12,0
	4cm - 231,9	36,87	406,53	11,0
	6cm - 307,7	48,92	525,04	10,7
Aplicação de ETICS	3cm - 365,8	58,16	1078,76	18,5
	4cm - 418,6	66,56	1136,97	17,1
	6cm - 483,8	76,92	1279,68	16,6
Vãos envidraçados mais eficientes	56,8	9,03	387,87	43
Orientação solar da fachada principal	Norte - 3,2	0,51	-	-
	Sul - 797,1	126,74	-	-
Sombreamentos fixos	51,0	8,11	330,78	40,7
Ventilação natural (nocturna)	349,3	55,54	-	-
Equipamentos e iluminação eficientes	12,5	1,99	-	-

Da análise do quadro anterior, é possível perceber que a aplicação de diferentes estratégias de melhoria derivadas da utilização de isolamento térmico permite uma poupança variável consoante o local de aplicação do isolamento na envolvente. Quando o isolamento é colocado pelo exterior obtém-se uma maior poupança na factura energética, quando comparado com o isolamento na caixa-de-ar das paredes duplas e para as mesmas espessuras. A nível do custo de produção, a colocação de ETICS acarreta valores mais elevados (aumentos que variam entre os 244% e os 300%). Esta diferença é justificável com o elevado custo dos revestimentos de um sistema ETICS, bem como da mão-de-obra

da sua aplicação. Analisando os períodos de retorno financeiro das várias soluções, constata-se que, apesar de o valor de poupança energética associado aos ETICS ser maior, o acréscimo no custo de produção é substancialmente maior, o que faz com que esta solução tenha um período de retorno financeiro superior (em média 6 anos). A utilização dos ETICS será mais vantajosa quanto maior o tempo de vida de uma habitação. Por exemplo, para um período de vida de 30 anos, a solução de ETICS de 6cm apresenta lucros simples de 1030,73€, enquanto a colocação da mesma espessura de isolamento térmico na caixa-de-ar da parede dupla apresenta um valor de 944,16€.

Incidindo apenas a análise nas espessuras consideradas para cada solução, destaca-se que a diferença entre os períodos de retorno não é muito acentuada, derivado da proximidade de custo das placas de EPS de diferentes espessuras. Por este motivo, quanto maior o investimento em termos da espessura, menor será o período de retorno financeiro, salvaguardando a hipótese de existir um ponto em que o aumento de espessura não se traduza num aumento de eficiência justificável.

Avaliando a mais-valia da colocação de vãos envidraçados mais eficientes, constata-se que, apesar dos custos de produção não serem muito acrescidos (11,8% em relação ao custo inicial), o valor anual da poupança energética é de apenas 9,03€, o que faz com que o período de retorno financeiro simples seja de 43 anos, não sendo, por isso, uma solução muito vantajosa, neste caso de estudo.

O mesmo se verifica em relação à colocação de um sombreamento fixo nas janelas da fachada principal. Ainda que o custo total da sua aplicação seja de 330,78€, a poupança energética é de 8,11€ por ano, o que resulta num período de retorno financeiro simples de quase 41 anos.

Para algumas das soluções de melhoria estudadas nesta dissertação não é possível determinar um período de retorno financeiro. Relativamente à orientação solar do edifício, a sua aplicação não exige custos iniciais acrescidos e portanto não é possível estabelecer este tipo de análise, sendo contudo de salientar que a orientação da fachada principal a Sul é a proposta de melhoria que apresenta uma maior poupança na factura energética, em termos de climatização.

A aplicação da ventilação natural nocturna é outra melhoria que não permite o cálculo de períodos de retorno, na medida em que é apenas uma alteração dos padrões comportamentais que não exige acréscimos de custo.

A utilização de equipamentos e iluminação mais eficientes não produz uma poupança energética significativa ao nível da climatização (1,99€/ano), pelo que, se fosse aplicada esta análise, obter-se-ia um período de retorno financeiro simples demasiado elevado, uma vez que o custo de aplicação deriva da diferença de preço entre equipamentos e dispositivos de iluminação mais e menos eficientes. No entanto, esta solução apresenta vantagens em termos de poupança da factura energética global, apenas derivada da utilização dos equipamentos e dispositivos que, por serem mais eficientes, têm valores de consumo menores. Por este motivo, seria incorrecto proceder a uma análise tão simplista da viabilidade financeira da aplicação desta solução.

7. CONCLUSÃO

A aplicação do paradigma da construção sustentável conduz à adopção de uma diversidade de novas soluções no sector dos edifícios que contribuam para a construção de edifícios energeticamente eficientes, sem descurar o bem-estar e conforto dos utilizadores.

A problemática da poupança de energia, em particular no sector dos edifícios, impõe que se adoptem novas e mais eficientes soluções construtivas de modo a que se obtenham as vantagens que o processo do desenvolvimento sustentável propõe.

Por outro lado, as soluções devem também contribuir para uma efectiva redução de consumos, situação essa que deverá poder ser avaliada e quantificada garantindo que os seus resultados podem vir a servir como referência para intervenções futuras.

O parque edificado em Portugal apresenta hoje um nível de desempenho pouco eficiente, sendo, por isso, este o campo com maior urgência de intervenção.

Com base no estudo desenvolvido procurou-se avaliar diferentes propostas de melhoria do desempenho energético de uma habitação já edificada, com especial enfoque na aplicação de soluções passivas que, sendo aplicadas em fase de concepção ou na situação de reabilitação, melhorariam o seu desempenho energético, enquadrando-se deste modo na construção sustentável.

Assim, foi criado o modelo base de uma fracção autónoma de um edifício multifamiliar, a partir do qual foram introduzidas as seguintes propostas de melhoria: aplicação de isolamento térmico no interior de paredes duplas, aplicação de ETICS na envolvente exterior opaca, utilização de vãos envidraçados mais eficientes, alteração da orientação solar do edifício, aplicação de um sombreamento fixo, definição de um padrão de ventilação natural nocturna para o Verão e a utilização de equipamentos eléctricos e dispositivos de iluminação mais eficientes.

Para proceder à avaliação recorreu-se ao *EnergyPlus*, uma vez que é uma ferramenta que permite otimizar o parâmetro relativo aos ganhos térmicos internos da habitação, aplicando padrões de ocupação e utilização que simulam de forma mais real o modo como a habitação é utilizada. Como exposto nos resultados, os padrões comportamentais aplicados neste caso contribuíram para um aumento do valor dos ganhos internos relativamente ao valor considerado pela Certificação Energética, o que influenciou a diferença entre os valores de necessidades de climatização obtidos pelo caso de estudo e os constantes no certificado energético.

Apesar de se ressaltar que o estudo comportamental dos habitantes é variável e o aplicado neste caso pode não traduzir fielmente a realidade, verificou-se que os ganhos internos têm uma grande influência na determinação das necessidades de climatização. Deste modo, é importante proceder-se à sua avaliação fundamentada, com o intuito de evitar sub ou sobrevalorizações deste parâmetro, especialmente quando se recorre a avaliações estáticas do desempenho energético.

A análise da valia das propostas de melhoria incidiu essencialmente em dois parâmetros: a

poupança de consumo energético em termos de climatização e o período de retorno financeiro da sua utilização (caso seja aplicável).

No Quadro 7.1, são apresentados os principais resultados obtidos através da análise do caso de estudo, no que se refere à percentagem de melhoria das necessidades globais para climatização, que reflecte a poupança na factura energética e ao período de retorno financeiro da introdução das novas medidas.

Quadro 7.1 – Quadro síntese dos principais resultados obtidos com a análise do caso de estudo

PROPOSTAS DE MELHORIA APLICADAS	MELHORIA DAS NECESSIDADES GLOBAIS (%)	PERÍODO DE RETORNO FINANCEIRO (Anos)
Aplicação de isolamento térmico no interior de paredes duplas	4,5 (3cm)	12,0 (3cm)
	5,6 (4cm)	11,0 (4cm)
	7,4 (6cm)	10,7 (6cm)
Aplicação de ETICS	8,8 (3cm)	18,5 (3cm)
	10,0 (4cm)	17,1 (4cm)
	11,6 (6cm)	16,6 (6cm)
Vãos envidraçados mais eficientes	1,4	43
Orientação solar da fachada principal	0,1 (Norte)	-
	19,1 (Sul)	
Sombreamentos fixos	1,2	40,7
Ventilação natural (nocturna)	8,4	-
Equipamentos e iluminação mais eficientes	0,3	-

As principais conclusões passíveis de ser retiradas da análise deste caso de estudo são:

- a melhor proposta em termos de poupança na factura energética é a mudança da orientação solar do edifício, de maneira a que fachada principal fique orientada a Sul;
- a aplicação de isolamento térmico é uma solução mais viável financeiramente do que a utilização de soluções de vãos envidraçados mais eficientes ou a colocação de um sombreamento fixo na fachada principal;
- a colocação de isolamento térmico é mais favorável quanto maior for o período de vida da habitação, sendo nesse caso preferível adoptar o sistema de ETICS porque, apesar de

representar um investimento inicial mais avultado, permite uma maior poupança anual na factura energética;

- a aplicação dos vãos envidraçados e do sombreamento fixo, avaliados neste caso de estudo, são propostas pouco viáveis financeiramente, na medida em que o seu período de retorno financeiro simples ultrapassa os 40 anos;
- só existe vantagem energética com a ventilação natural nocturna, se forem estabelecidos padrões comportamentais que sejam aplicados pelos utilizadores;
- a introdução de equipamentos e dispositivos de iluminação mais eficientes não induz diferenças nas necessidades globais de climatização, sendo a sua mais-valia ao nível da redução do consumo energético dos próprios equipamentos.

A avaliação de cada uma destas propostas foi efectuada isoladamente, não tendo sido objecto de estudo a sua aplicação em simultâneo na fracção autónoma, o que poderia potenciar as poupanças energéticas, especialmente quando conjugadas propostas que não acarretem custos financeiros adicionais.

A análise deste caso de estudo permitiu estabelecer linhas orientadoras de procedimento no que se refere às propostas de melhoria de eficiência energética com maior potencialidade de aplicação, não sendo, no entanto, possível fazer uma extrapolação completa dos resultados obtidos neste caso para a realidade de toda a construção de edifícios.

7.1 Desenvolvimentos futuros

Dando continuidade aos temas discutidos ao longo desta dissertação, podem-se definir algumas das áreas que, tendo por base este trabalho, são passíveis de ser desenvolvidas em futuros trabalhos de investigação.

Tendo por base o estudo realizado, mostra-se importante proceder a uma análise mais abrangente das necessidades energéticas, onde se contabilizem todos os consumos energéticos de uma habitação, obtidos a partir de estudo de campo, efectuado ao longo de um determinado período de tempo. Além disso, considera-se vantajoso fazer ainda estudos que englobem a análise simultânea de dois ou mais sistemas/propostas passíveis de serem aplicados e obter uma comparação entre ambos que permita tornar evidentes as suas vantagens.

Por outro lado, a análise custo-benefício efectuada poderá vir a ser mais desenvolvida, sendo importante avaliar, a influência dos materiais aplicados, tendo em conta todo o seu ciclo de vida, outras soluções activas de melhoria da eficiência energética, assim como a capacidade de auto-suficiência do edifício em termos energéticos.

Como ficou demonstrado com esta dissertação, a determinação dos ganhos internos é

importante para a correcta quantificação das necessidades energéticas de uma habitação. Por este motivo, torna-se importante haver uma correcta definição dos padrões comportamentais dos utilizadores dos edifícios, de modo a poder prever o modo como ocupam a habitação (tempo de permanência, abertura de janelas, activação de estores) e a forma como utilizam os equipamentos. No entanto, ainda não existe um estudo sociológico fidedigno destes parâmetros, em Portugal, sendo, portanto, uma hipótese de avaliação futura, que poderia ser optimizada para diferentes zonas climáticas do país.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] - BRUNDTLAND, G. H.- *Our Common Future: The world commission on environment and development*. Paris, Oxford University Press, 1987
- [2] - KIBERT, C.- *Sustainable Construction - Green building design and delivery*. New Jersey, John Wiley & Sons, Inc, 2008
- [3] - EUROSTAT- *Energy, Transport and Environment Indicators, 2010 Edition*. Luxembourg, Publications Office of the European Union, 2011
- [4] - GUEDES, M., et al.- *Sustainable architecture and urban design in Portugal: An overview*. Renewable Energy, 34, pgs 1999–2006, 2009
- [5] - PIMENTEL, M. A., et al.- *Introdução ao Desenvolvimento Económico e Social*. Porto, Edições ASA, 1995
- [6] - PINHEIRO, M. D.- *Ambiente e Construção Sustentável*. Amadora, Instituto do Ambiente, 2006
- [7] - CIB- *Agenda 21 on Sustainable Construction*. Rotterdam, Conseil International du Bâtiment, 1999
- [8] - SAGE, A. P.- *Risk Management for Sustainable Development*. IEEE International Conference on System, Man and Cybernetics. New York. 1998
- [9] - KATES, R., et al.- *What is Sustainable Development? Goals, indicators, values and practice*. Environment, 47, 3, pgs 9-21, 2005
- [10] - UN- *World Population Prospects: The 2010 Revision*. New York, United Nations: Department of Economic and Social Affairs, 2010
- [11] - UN- *The habitat agenda goals and principles, commitments and the global plan of action*, United Nations, 1996.
- http://www.unhabitat.org/downloads/docs/1176_6455_The_Habitat_Agenda.pdf (23/08/2011)
- [12] - FIEC- *Annual Report*. Brussels, Fédération de l'Industrie Européenne de la Construction, 2011
- [13] - UNEP- *Sustainable Buildings and Construction Initiative, 2006. Information Note*. Paris, United Nations Environment Programme, 2006
- [14] - BOURDEAU, L.- *Sustainable Development and the future of construction: a comparison of vision from various countries*. Building Research and Information, 27, 6, pgs 354-366, 1999
- [15] - INE- *Estatísticas da Construção e Habitação 2009*. Lisboa, Instituto Nacional de Estatística, 2010
- [16] - AMADO, M. P.;FERREIRA, B. A.- *Construção do Edifício Sustentável - Contributo para um processo operativo*. Curia, Edições Plataforma para Construção Sustentável, 2010
- [17] - BAPTISTA, J. M., et al.- *Programa Nacional para o uso eficiente da Água*. Lisboa, INAG - Instituto da Água, IP, 2001
- [18] - JUNNILA, S.;HORVARTH, A.- *Life-Cycle Environmental Effects of an Office Building*.

Journal of Infrastructure Systems, 9, 4, pgs 157-166, 2003

[19] - PEDROSO, V. M.- *Medidas para um uso mais eficiente da água nos edifícios*. Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2009

[20] - ALMEIDA, M. C., *et al.*- *Uso Eficiente da água no sector urbano*. Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2006

[21] - WBCSD- *Eficiência Energética em Edifícios - Realidades empresariais e oportunidades*. Lisboa, BCSD Portugal, 2009

[22] - PIEDADE, A. C.- *Ventilação natural de edifícios - 1º Curso de Física da Construção e Tecnologias Solar-Passivas*. Lisboa, Instituto Superior Técnico - Universidade Técnica de Lisboa, 1999

[23] - AMADO, M. P., *et al.*- *The Sustainable Building Process*, in CD: Ron Wakefield (eds.): RMIT University, Australia, ISBN: 978-1-921166-68-6, pp. 65, 2007

[24] - *Ministério do Ambiente e de ordenamento do território*-
<http://www.apambiente.pt/politicasantambiente/residuos/Paginas/default.aspx> (25/08/2011)

[25] - ROCHETA, V.; FARINHA, F.- *Práticas de projecto e construtivas para a construção sustentável*. 3º Congresso de construção. Coimbra. 2007

[26] - BRAGANÇA, L.; MATEUS, R.- *Sustentabilidade de soluções construtivas*. 2º Congresso sobre Construções Sustentáveis. Porto. 2006

[27] - AMADO, M., *et al.*- *Relatório de Candidatura à Concessão de Terrenos em Cacuaco - Angola*. Luanda, Cunhas e Irmão, S.A.R.L., 2009

[28] - BREEAM- *BREEAM multi-residential 2008*. Watford, BRE Global Ltd, 2008

[29] - COLE, R. L., NILS- *GBTool User Manual*. Canada, iiSBE, 2002

[30] - LARSSON, N.- *Rating Systems and SBTool*. Seoul, iiSBE, 2007

[31] - USGBC- *LEED 2009 for New Construction and Major Renovations Rating System*. Washington, DC, USGBC, 2011

[32] - PINHEIRO, M. D.- *LiderA - Sistema voluntário para a sustentabilidade dos ambientes construídos*. Lisboa, Instituto Superior Técnico - Universidade Técnica de Lisboa, 2011

[33] - LUCAS, V.- *Construção Sustentável - Sistema de Avaliação e Certificação*. Tese de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Ciência e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa, 2011

[34] - INE- *Resultados Definitivos - Censos 2001*. Lisboa, Instituto Nacional de Estatística, 2002

[35] - ADENE- *Guia da Eficiência Energética*. Lisboa, ADENE - Agência para a Energia, 2010

[36] - DGEG- *Balanço Energético Nacional 2008*, Direcção Geral de Energia e Geologia, 2009.
<http://www.adene.pt/NR/rdonlyres/0000025e/xiwmvghfwwtwwhwnyxxfvxdfhuahbtfr/PortugalEfici%C3%A2ncia2015Vers%C3%A3oSum%C3%A1rio.pdf> (4/09/2011)

[37] - DGGE- *Eficiência energética em equipamentos e sistemas eléctricos no sector residencial*. Lisboa, Direcção Geral de Energia e Geologia, 2004

[38] - PINHEIRO, M. D.- *Construção Sustentável - Mito ou Realidade ? VII Congresso Nacional de*
108

Engenharia do Ambiente. Lisboa. 2003

[39] - ITIC- *SCE – Oportunidades para o sector da Construção*. Lisboa, Instituto Técnico para a Indústria e Construção, 2008

[40] - ISOLANI, P., *et al.*- *Eficiência energética nos edifícios residenciais, Manual do Consumidor*. Lisboa, DECO, 2008

[41] - UN- *Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change*. Kyoto, United Nations, 1998

[42] - UN- *Kyoto Protocol, Reference Manual on Accounting of Emissions and Assigned Amount* Bonn, United Nations Framework Convention on Climate Change, 2008

[43] - Directiva 89/364/CEE. Jornal Oficial das Comunidades Europeias. (1989.06.09). pgs 32-34

[44] - Directiva 91/565/CEE. Jornal Oficial das Comunidades Europeias. (1991.11.08). pgs 34-36

[45] - Directiva 93/76/CEE. Jornal Oficial das Comunidades Europeias. (1993.09.22). pgs 28-30

[46] - UE- *Plano de acção para melhorar a eficiência energética na Comunidade Europeia*. Brussels, Comissão das Comunidades Europeias, 2000

[47] - Directiva 2002/91/CE. Jornal Oficial das Comunidades Europeias. (2003.01.04). pgs 65-71

[48] - Directiva 2006/32/CE. Jornal Oficial da União Europeia. (2006.04.27). pgs 64-85

[49] - CE- *Proposta de Directiva do Parlamento Europeu e do Conselho relativa à eficiência energética*. Bruxelas, Comissão Europeia, 2011

[50] - Decreto-Lei nº40/90. Diário da República (I Série) - Nº31. (1990.02.06). pgs 490-504

[51] - *Programa E4 - Eficiência Energética e Energias Endógenas*, Lisboa, Ministério da Economia, 2001. http://www.aguaquentesolar.com/publicacoes/14/Programa_E4.pdf (24/08/2011)

[52] - Decreto-Lei nº78/2006. Diário da República (I Série A) (2006.04.04). pgs 2411-2415

[53] - DGEG- *Portugal Eficiência 2015 - Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética*, 2008.

<http://www.adene.pt/NR/rdonlyres/0000025e/xiwmvghfwwtwwhwnyxfvxdhuhabtfr/PortugalEfici%C3%A2ncia2015Vers%C3%A3oSum%C3%A1rio.pdf> (31/08/2011)

[54] - AELENEI, D.- *RCCTE "Light"*. Lisboa, Faculdade de Ciência e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa, 2009

[55] - Decreto-Lei nº80/2006. Diário da República (I Série-A). (2006.04.04). pgs 2468-2513

[56] - FREITAS, V. P.- *Implicações construtivas do novo RCCTE na concepção de paredes de alvenaria*. Seminário sobre Paredes de Alvenaria, pgs 87-102, 2007

[57] - ADENE- *Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE)*, ADENE, 2009. http://www.adene.pt/NR/rdonlyres/C2A3E54E-5B8B-46F6-ACAD-12B42F726368/821/SCE_Geral2.pdf (1/09/2011)

[58] - AELENEI, D.- *Acetatos das Aulas de Optimização Funcional de Edifícios*. Mestrado Integrado em Engenharia Civil - FCT/UNL. 2010

[59] - ENERGYPLUS- *Getting Started with EnergyPlus - Basic Concepts Manual - Essential*

Information You Need about Running EnergyPlus. Illinois, US Department of Energy, 2010

[60] - DGE- *Eficiência Energética nos Edifícios*. Lisboa, Direcção Geral de Energia - Ministério da Economia, 2002

[61] - IEE- *Implementing the Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) - Featuring Country Reports 2010*. Brussels, Intelligent Energy-Europe, 2011

[62] - IEE- *Na direcção de casas passivas - Mecanismos de apoio ao desenvolvimento do mercado de casas passivas*. Brussels, Project Passive-on - Intelligent Energy-Europe, 2007

[63] - *The basics of solar site orientation*. <http://www.examiner.com/green-building-in-boise/the-basics-of-solar-site-orientation>. (2/09/2011)

[64] - TIRONE, L.- *Construção Sustentável*. Sintra, Tirone Nunes, S.A., 2007

[65] - GONÇALVES, H.; GRAÇA, J. M.- *Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal*. Lisboa, Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação, 2004

[66] - SIRGADO, J.- *Análise do impacte dos vãos envidraçados no desempenho térmico dos edifícios*. Tese de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico - Universidade Técnica de Lisboa, 2010

[67] - VIEGAS, J. C.- *Ventilação natural em edifícios de habitação*, Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, <http://mestrado-reabilitacao.fa.utl.pt/disciplinas/jbastos/JViegasVentilacao.pdf> (2/09/2011)

[68] - DGGE- *Reabilitação energética da envolvente de edifícios residenciais*. Lisboa, Direcção Geral de Geologia e Energia, 2004

[69] - MAXIT- *Isolamento térmico de fachadas pelo exterior*. Porto, maxit – Tecnologias de Construção e Renovação, Lda, 2002

[70] - MENDONÇA, P.- *Habitar sob uma segunda pele: Estratégias para a Redução do Impacto Ambiental de Construções Solares Passivas em Climas Temperados*. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, Universidade do Minho, 2005

[71] - APISOLAR- *Solar Térmico em Portugal - Estatísticas 2009*. Lisboa, APISOLAR - Associação Portuguesa da Indústria Solar, 2010

[72] - *Tecnologias: Tipos de sistemas solares térmicos*. http://www.energiasrenovaveis.com/DetalheConceitos.asp?ID_conteudo=42&ID_area=8&ID_sub_area=26. (5/9/2011)

[73] - *Nova etiqueta energética da UE*. <http://www.newenergylabel.com/index.php/pt/home/>. (3/09/2011)

[74] - DUARTE, P.- *Interface de um Gerador Eólico de Pequena Potência com a Rede Eléctrica*. Tese de Mestrado em Engenharia Electrónica Industrial e Computadores, Universidade do Minho, 2010

[75] - SANTOS, C.; MATIAS, L.- *Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios - ITE 50*. Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2006

[76] - ENERGYPLUS- *Input Output Reference - The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input and Output*. Illinois, US Department of Energy, 2010

[77] - *Simulador de potência contratada*.

<http://www.erse.pt/pt/electricidade/simuladores/simuladordepotenciaacontratar/Documents/ERSEkw.html>. (5/09/2011)

ANEXOS

ANEXO I

COEFICIENTES DE TRANSMISSÃO TÉRMICA DAS SOLUÇÕES ADOPTADAS

Valores da condutibilidade térmica retirados do ITE 50 ou de fichas técnicas do material

Envolvente opaca em zona corrente				
Elemento	λ [W/m°C]	Espessura [m]	Resistência (m²°C/W)	U (W/m²°C)
RSI			0,13	1,05
Reboco de Argamassa	1,30	0,02	0,02	
Tijolo 11		0,11	0,27	
Caixa-de-Ar		0,03	0,18	
Tijolo 11		0,11	0,27	
Estuque Projectado	0,43	0,02	0,05	
RSE			0,04	
Total		0,29	0,95	

Envolvente opaca em ponte térmica plana				
Elemento	λ [W/m°C]	Espessura [m]	Resistência (m²°C/W)	U (W/m²°C)
RSI			0,13	2,80
Reboco de Argamassa	1,30	0,02	0,02	
Betão Armado	2,00	0,25	0,13	
Estuque Projectado	0,43	0,02	0,05	
RSE			0,04	
Total		0,29	0,36	

Pavimento com revestimento a ladrilho cerâmico				
Elemento	λ [W/m°C]	Espessura [m]	Resistência (m²°C/W)	U (W/m²°C)
RSI			0,13	0,86
Ladrilho cerâmico	1,30	0,01	0,01	
Betonilha de regularização	0,85	0,02	0,02	
XPS	0,04	0,03	0,81	
Laje em betão armado	2,00	0,22	0,11	
Estuque Projectado	0,43	0,02	0,05	
RSE			0,04	
Total		0,30	1,17	

Pavimento com revestimento flutuante em madeira				
Elemento	λ [W/m°C]	Espessura [m]	Resistência (m²°C/W)	U (W/m²°C)
RSI			0,13	0,81
Pavimento flutuante	0,15	0,01	0,07	
Betonilha de regularização	0,85	0,02	0,02	
XPS	0,04	0,03	0,81	
Laje em betão armado	2,00	0,22	0,11	
Estuque Projectado	0,43	0,02	0,05	
SER			0,04	
Total		0,30	1,23	

Parede da caixa de elevador				
Elemento	λ [W/m°C]	Espessura [m]	Resistência (m²°C/W)	U (W/m²°C)
RSI			0,13	3,43
Laje em betão armado	2,00	0,15	0,08	
Estuque Projectado	0,43	0,02	0,05	
SER			0,04	
Total		0,17	0,29	

Parede em contacto com a zona comum				
Elemento	λ [W/m°C]	Espessura [m]	Resistência (m²°C/W)	U (W/m²°C)
RSI			0,13	1,33
Reboco de Argamassa	1,30	0,02	0,02	
Tijolo de 20		0,25	0,52	
Estuque Projectado	0,43	0,02	0,05	
SER			0,04	
Total		0,29	0,75	

Parede dupla com 3cm de isolamento térmico (EPS)				
Elemento	λ [W/m°C]	Espessura [m]	Resistência (m²°C/W)	U (W/m²°C)
RSI			0,13	0,66
Reboco de Argamassa	1,30	0,02	0,02	
Tijolo 11		0,11	0,27	
EPS (3cm)	0,04	0,03	0,75	
Tijolo 11		0,11	0,27	
Estuque Projectado	0,43	0,02	0,05	
SER			0,04	
Total		0,29	1,52	

Parede dupla com 4cm de isolamento térmico (EPS)				
Elemento	λ [W/m°C]	Espessura [m]	Resistência (m²°C/W)	U (W/m²°C)
RSI			0,13	0,56
Reboco de Argamassa	1,30	0,02	0,02	
Tijolo 11		0,11	0,27	
EPS (4cm)	0,04	0,04	1,00	
Tijolo 11		0,11	0,27	
Estuque Projectado	0,43	0,02	0,05	
RSE			0,04	
Total		0,30	1,77	

Parede dupla com 6cm de isolamento térmico (EPS)				
Elemento	λ [W/m°C]	Espessura [m]	Resistência (m²°C/W)	U (W/m²°C)
RSI			0,13	0,44
Reboco de Argamassa	1,30	0,02	0,02	
Tijolo 11		0,11	0,27	
EPS (6cm)	0,04	0,06	1,50	
Tijolo 11		0,11	0,27	
Estuque Projectado	0,43	0,02	0,05	
RSE			0,04	
Total		0,32	2,27	

Parede simples com ETICS com 3cm de EPS				
Elemento	λ [W/m°C]	Espessura [m]	Resistência (m²°C/W)	U (W/m²°C)
RSI			0,13	0,57
Estuque projectado	0,43	0,02	0,05	
Tijolo cerâmico		0,24	0,56	
ETICS (3cm)	0,04	0,03	0,75	
RSE		0,11	0,27	
Total		0,40	1,76	

Parede simples com ETICS com 4cm de EPS				
Elemento	λ [W/m°C]	Espessura [m]	Resistência (m²°C/W)	U (W/m²°C)
RSI			0,13	0,50
Estuque projectado	0,43	0,02	0,05	
Tijolo cerâmico		0,24	0,56	
ETICS (3cm)	0,04	0,04	1,00	
RSE		0,11	0,27	
Total		0,41	2,01	

Parede simples com ETICS com 6cm de EPS				
Elemento	λ [W/m°C]	Espessura [m]	Resistência (m²°C/W)	U (W/m²°C)
RSI			0,13	0,40
Estuque projectado	0,43	0,02	0,05	
Tijolo cerâmico		0,24	0,56	
ETICS (3cm)	0,04	0,06	1,50	
SER		0,11	0,27	
Total		0,43	2,51	

Viga ou pilar em betão armado com ETICS com 3cm de EPS				
Elemento	λ [W/m°C]	Espessura [m]	Resistência (m²°C/W)	U (W/m²°C)
RSI			0,13	0,76
Estuque projectado	0,43	0,02	0,05	
Betão armado	2,00	0,25	0,13	
ETICS (3cm)	0,04	0,03	0,75	
RSE		0,11	0,27	
Total		0,41	1,32	

Viga ou pilar em betão armado com ETICS com 4cm de EPS				
Elemento	λ [W/m°C]	Espessura [m]	Resistência (m²°C/W)	U (W/m²°C)
RSI			0,13	0,64
Estuque projectado	0,43	0,02	0,05	
Betão armado	2,00	0,25	0,13	
ETICS (4cm)	0,04	0,04	1,00	
RSE		0,11	0,27	
Total		0,42	1,57	

Viga ou pilar em betão armado com ETICS com 6cm de EPS				
Elemento	λ [W/m°C]	Espessura [m]	Resistência (m²°C/W)	U (W/m²°C)
RSI			0,13	0,48
Estuque projectado	0,43	0,02	0,05	
Betão armado	2,00	0,25	0,13	
ETICS (6cm)	0,04	0,06	1,50	
RSE		0,11	0,27	
Total		0,44	2,07	

ANEXO II

PADRÕES DE UTILIZAÇÃO DOS SOMBREAMENTOS MÓVEIS NO CASO DE ESTUDO

DATAS	HORÁRIO	“ZONA QUARTOS”	“ZONA SALA”
1 de Janeiro a 30 de Abril 16 de Outubro a 31 de Dezembro (Dias úteis)	7h00	1	1
	12h00	0	0
	18h00	0	0
	22h00	0	0
	24h00	1	1
1 de Janeiro a 30 de Abril 16 de Outubro a 31 de Dezembro (Fins de semana)	9h00	1	1
	12h00	0	0
	18h00	0	0
	22h00	1	1
	24h00	1	1
1 de Maio a 15 de Agosto 1 de Setembro a 15 de Outubro (Dias úteis)	7h00	1	1
	12h00	1	0
	18h00	1	0
	22h00	0	0
	24h00	1	1
1 de Maio a 15 de Agosto 1 de Setembro a 15 de Outubro (Fins de semana)	9h00	1	1
	12h00	0	0
	18h00	0	0
	22h00	0	0
	24h00	1	0

0 – Sombreamento móvel inactivo

1 – Sombreamento móvel activo

ANEXO III

POTÊNCIA DOS EQUIPAMENTOS ELÉCTRICOS PARA EFICIÊNCIAS MÉDIA E ELEVADA

	EQUIPAMENTO ELÉCTRICO	TEMPO MÉDIO DE UTILIZAÇÃO (h/dia)	POTÊNCIA MÉDIA (W)	POTÊNCIA BAIXA (W)
“ZONA QUARTOS”	TV convencional	4	300	-
	Computador	4	300	-
	Pequenos equipamentos (secador, despertador)	1/6	1000	-
“ZONA SALA”	Máquina de lavar roupa	1	2000	1850
	Máquina de secar roupa	1	3500	2000
	Máquina de lavar loiça	1	2000	1000
	Forno eléctrico	1/2	2400	1800
	Placa de fogão	1	6200	5300
	Microondas	1/4	900	700
	Exaustor	1	140	120
	Aspirador	1/4	1600	1200
	Frigorífico	24	150	120
	Congelador	24	250	200
	Torradeira	1/12	1000	800
	TV LCD	4	90	-

ANEXO IV

PADRÕES DE UTILIZAÇÃO EM TERMOS DE OCUPAÇÃO, ILUMINAÇÃO E EQUIPAMENTOS

PADRÕES DE OCUPAÇÃO (EM PERCENTAGEM)

DATAS	HORÁRIO	“ZONA QUARTOS”	“ZONA SALA”
1 de Janeiro a 30 de Abril 16 de Outubro a 31 de Dezembro (Dias úteis)	7h00	100	0
	12h00	0	0
	18h00	0	25
	22h00	25	75
	24h00	50	50
1 de Janeiro a 30 de Abril 16 de Outubro a 31 de Dezembro (Fins de semana)	9h00	100	0
	12h00	25	50
	18h00	0	50
	22h00	0	100
	24h00	25	75
1 de Maio a 15 de Agosto 1 de Setembro a 15 de Outubro (Dias úteis)	7h00	100	0
	12h00	0	0
	18h00	0	25
	22h00	25	75
	24h00	50	50
1 de Maio a 15 de Agosto 1 de Setembro a 15 de Outubro (Fins de semana)	9h00	100	0
	12h00	25	50
	18h00	0	50
	22h00	0	100
	24h00	25	75

Considerou-se percentagens de ocupação para um total de 4 habitantes.

PADRÕES DE UTILIZAÇÃO DA ILUMINAÇÃO (EM PERCENTAGEM)

DATAS	HORÁRIO	“ZONA QUARTOS”	“ZONA SALA”
1 de Janeiro a 30 de Abril 16 de Outubro a 31 de Dezembro (Dias úteis)	7h00	0	0
	12h00	25	0
	18h00	0	5
	22h00	25	25
	24h00	12,5	5
1 de Janeiro a 30 de Abril 16 de Outubro a 31 de Dezembro (Fins de semana)	9h00	5	0
	12h00	5	5
	18h00	0	5
	22h00	0	12,5
	24h00	5	12,5
1 de Maio a 15 de Agosto 1 de Setembro a 15 de Outubro (Dias úteis)	7h00	0	0
	12h00	10	0
	18h00	0	0
	22h00	12,5	12,5
	24h00	12,5	5
1 de Maio a 15 de Agosto 1 de Setembro a 15 de Outubro (Fins de semana)	9h00	0	0
	12h00	0	0
	18h00	0	0
	22h00	0	12,5
	24h00	5	12,5

Valores em percentagem da utilização do total da potência dos dispositivos de iluminação, em cada zona.

PADRÕES DE UTILIZAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS (EM PERCENTAGEM)

DATAS	HORÁRIO	“ZONA QUARTOS”	“ZONA SALA”
1 de Janeiro a 30 de Abril 16 de Outubro a 31 de Dezembro (Dias úteis)	7h00	0	3
	12h00	1	4
	18h00	1	4
	22h00	38	16
	24h00	19	3,5
1 de Janeiro a 30 de Abril 16 de Outubro a 31 de Dezembro (Fins de semana)	9h00	2	3
	12h00	16	19
	18h00	6	8
	22h00	38	16
	24h00	19	3,5
1 de Maio a 15 de Agosto 1 de Setembro a 15 de Outubro (Dias úteis)	7h00	0	3
	12h00	1	4
	18h00	1	4
	22h00	38	16
	24h00	19	3,5
1 de Maio a 15 de Agosto 1 de Setembro a 15 de Outubro (Fins de semana)	9h00	2	3
	12h00	16	19
	18h00	6	8
	22h00	38	16
	24h00	19	3,5

Valores em percentagem da utilização do total da potência dos equipamentos, tendo em conta o seu tempo médio de uso diário, em cada zona.

ANEXO V

CÁLCULOS RELATIVOS AOS CUSTOS DE PRODUÇÃO DAS SOLUÇÕES DE MELHORIA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

O cálculo do custo de produção das soluções de melhoria de eficiência energética foi obtido com base no custo simples dos materiais necessários, associado ao custo de mão-de-obra para a sua aplicação, considerando-se em todos os preços uma margem de 20% para cobrir os custos indirectos e o lucro da empresa construtora.

Para o cálculo dos preços teve de se calcular o total das áreas de construção. A área total de envolvente opaca em zona corrente é de 31,96m². A área total para aplicação de ETICS (envolvente exterior opaca em zona corrente e ponte térmica plana) é de 36,96 m². A área total de envidraçados é de 15,8 m². A pala horizontal tem um comprimento de 0,5metros e tem um desenvolvimento de 10metros, o que perfaz uma área de 5 m².

Todos os preços foram obtidos pelo gerador de preços de construção da CYPE, que tem como base valores de referência para a região de Lisboa.

Isolamento térmico (EPS de 3cm) no interior de paredes duplas			
Item	Unidade	Preço/Unidade (€)	Preço total (€)
Painel rígido de EPS	m ²	5,22	166,83
Material auxiliar	m ²	0,54	17,26
Mão-de-obra	m ²	3,63	116,01
Total	m ²	9,39	360,13

Isolamento térmico (EPS de 4cm) no interior de paredes duplas			
Item	Unidade	Preço/Unidade (€)	Preço total (€)
Painel rígido de EPS	m ²	6,41	204,86
Material auxiliar	m ²	0,56	17,90
Mão-de-obra	m ²	3,63	116,01
Total	m ²	10,6	406,53

Isolamento térmico (EPS de 6cm) no interior de paredes duplas			
Item	Unidade	Preço/Unidade (€)	Preço total (€)
Painel rígido de EPS	m ²	9,48	302,98
Material auxiliar	m ²	0,58	18,54
Mão-de-obra	m ²	3,63	116,01
Total	m ²	13,7	525,04

Para a aplicação de ETICS calculou-se primeiro a diferença entre o custo de produção de uma parede dupla (solução base) e de uma parede de alvenaria de pano simples.

Parede dupla sem isolamento			
Item	Unidade	Preço/Unidade (€)	Preço total (€)
Pano interior de tijolo 11	m ²	3,41	108,98
Pano exterior de tijolo 11	m ²	3,41	108,98
Mão-de-obra	m ²	15,02	480,04
Total	m ²	21,84	837,61

Parede simples sem isolamento			
Item	Unidade	Preço/Unidade (€)	Preço total (€)
Pano simples de tijolo 24	m ²	6,32	201,98
Mão-de-obra	m ²	10,03	320,56
Total	m ²	16,35	627,06

A diferença entre o preço de construção dos dois tipos de parede é de 210,55€. Este valor deve ser retirado ao custo da aplicação de ETICS, para se obter o seu custo efectivo.

ETICS de 3cm na envolvente opaca pelo exterior			
Item	Unidade	Preço/Unidade (€)	Preço total (€)
Painel rígido de EPS	m ²	5,22	192,93
Revestimento delgado	m ²	12,51	462,37
Malha de fibra de vidro	m ²	2,89	106,81
Material auxiliar e de montagem	m ²	3,24	119,75
Mão-de-obra	m ²	5,21	192,56
Total	m ²	29,07	1289,31

ETICS de 4cm na envolvente opaca pelo exterior			
Item	Unidade	Preço/Unidade (€)	Preço total (€)
Painel rígido de EPS	m ²	6,41	236,91
Revestimento delgado	m ²	12,51	462,37
Malha de fibra de vidro	m ²	2,89	106,81
Material auxiliar e de montagem	m ²	3,35	123,82
Mão-de-obra	m ²	5,21	192,56
Total	m ²	30,37	1346,97

ETICS de 6cm na envolvente opaca pelo exterior			
Item	Unidade	Preço/Unidade (€)	Preço total (€)
Painel rígido de EPS	m ²	9,48	350,38
Revestimento delgado	m ²	12,51	462,37
Malha de fibra de vidro	m ²	2,89	106,81
Material auxiliar e de montagem	m ²	3,51	129,73
Mão-de-obra	m ²	5,21	192,56
Total	m ²	33,60	1490,23

Para o cálculo do custo efectivo de aplicação dos novos envidraçados é necessário conhecer o custo do sistema de envidraçados da solução base, para que este valor seja retirado ao custo da nova solução. O custo efectivo da aplicação da nova solução é de 387,87€.

Envidraçados – Solução base			
Item	Unidade	Preço/Unidade (€)	Preço total (€)
Vidro duplo incolor 6/10/6	m ²	25,39	401,16
Material auxiliar	m ²	3,46	54,67
Mão-de-obra (vidros)	m ²	10,7	169,06
Caixilharia de alumínio (quartos)	ud	160,12	480,36
Estores (quartos)	ud	55,00	165,00
Caixilharia de alumínio (sala)	ud	350,44	350,44
Estores (sala)	ud	88,00	88,00
Caixilharia de alumínio (cozinha)	ud	220,12	220,12
Estores (cozinha)	ud	65,00	65,00
Material de montagem de caixilhos	-	100,00	100,00
Mão-de-obra (caixilharia)	-	650,00	650,00
Total		-	3292,57

Envidraçados – Solução mais eficiente			
Item	Unidade	Preço/Unidade (€)	Preço total (€)
Vidro duplo incolor 6/16/6 (Árgon)	m ²	42,15	665,97
Material auxiliar	m ²	3,98	62,88
Mão-de-obra (vidros)	m ²	10,7	169,06
Caixilharia de PVC (quartos)	ud	268,88	806,64
Estores (quartos)	ud	55,00	165,00
Caixilharia de PVC (sala)	ud	499,18	499,18
Estores (sala)	ud	88,00	88,00
Caixilharia de PVC (cozinha)	ud	340,12	340,12
Estores (cozinha)	ud	65,00	65,00
Material de montagem de caixilhos	-	25,18	25,18
Mão-de-obra (caixilharia)	-	180,00	180,00
Total		-	3680,44

Pala horizontal para sombreamento da “Zona Quartos”			
Item	Unidade	Preço/Unidade (€)	Preço total (€)
Betão armado e revestimentos	m ²	46,42	232,10
Mão-de-obra	m ²	8,71	43,55
Total	m ²	55,13	330,78